

DISPOSITIFS ANNEXES ACCESSOIRES

Ce chapitre comprend des dispositifs jouant un rôle propre important, comme ceux de transmission à distance, de simples accessoires comme des suspensions élastiques, enfin des dispositions spéciales possibles sur nos appareils et dont il a paru préférable de ne pas charger les chapitres précédents.

TRANSMISSIONS A DISTANCE

On peut désirer reproduire en un autre lieu les indications ou les enregistrements donnés par les appareils décrits précédemment.

On pourra utiliser, suivant le cas, l'un ou l'autre des dispositifs ci-dessous :

TRANSMISSION TYPE AUTO-SYNCHRONE. — Ce dispositif permet de transmettre une **indication** à distance : il est constitué par deux éléments identiques, sortes de petits moteurs, l'un émetteur, l'autre récepteur, dont les enroulements rotors inducteurs sont alimentés par une même source alternative commune et dont les enroulements triphasés stators induits sont montés en opposition chacun à chacun.

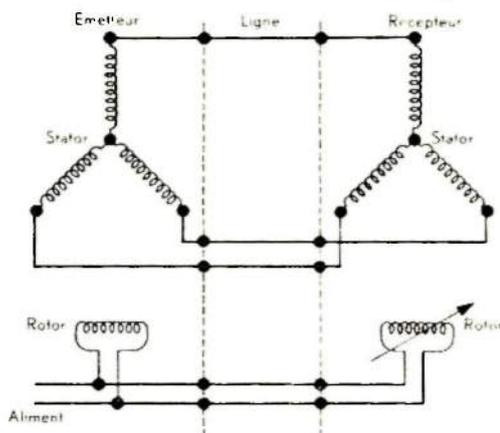


Fig. 28

Le rotor émetteur induit dans chacun des enroulements de son stator une force électromotrice fonction de sa position angulaire. De même, le rotor récepteur induit des forces électromotrices dans les éléments homologues de son stator. Le rotor émetteur est entraîné par l'appareil de mesure.

Si les deux rotors ont une position différente par rapport à leur stator, les forces électromotrices ci-dessus ne s'équilibrent pas deux à deux et il se crée des courants de circulation qui ont pour effet d'engendrer un couple ramenant le rotor du récepteur, sur lequel est calée l'aiguille indicatrice, à la position relative du rotor émetteur.

La liaison s'effectue au moyen de conducteurs en cuivre de 12:10 ou 16:10 mm.

La précision de la transmission est d'environ 0,3 %, de l'étendue de l'échelle retransmise.

La distance émetteur-récepteur, avec du fil de liaison de 12:10 mm, peut atteindre 1000 m en conservant l'ordre de précision indiqué ci-dessus.

Le récepteur est monté dans un boîtier portant une échelle graduée circulaire de 900 mm de longueur. L'émetteur est placé dans le pyromètre lui-même ; il peut être, s'il y a lieu, utilisé sur plusieurs directions à chacune desquelles correspond un récepteur.

Dans ce dernier cas l'aiguille d'un récepteur reste fixée à la position qu'elle a prise lors d'un passage de l'appareil sur sa direction jusqu'au passage suivant.

TRANSMISSION TYPE PONT DE WHEATSTONE. — Ce dispositif, d'un prix plus élevé que le précédent, a l'avantage de permettre l'**enregistrement**.

L'organe émetteur est constitué par un fil calibré se déplaçant devant un curseur. Celui-ci divise le fil, de résistance importante devant celle de la ligne, en deux portions constituant deux des bras d'un pont de Wheatstone. Le fil calibré est monté sur le même axe que celui de « mesure » du pyromètre transmetteur et il est entraîné avec lui.

Les deux autres bras du pont sont constitués de la même façon par les deux portions du fil calibré de l'appareil récepteur.

Le récepteur, tout-à-fait analogue comme fonctionnement et d'ailleurs comme présentation à un de nos appareils ordinaires, donne à son curseur, pour maintenir l'équilibre du pont, un déplacement égal à celui de l'appareil émetteur.

La précision de la transmission est de 0,3 ‰ de l'étendue de l'échelle.

Cette précision peut être assurée jusqu'à une distance d'environ 100 m si on emploie des fils de liaison en cuivre 12/10 et d'environ 200 m si on emploie du fil 16/10, sans qu'on ait à se préoccuper de l'influence des résistances de ligne. Au delà on aura, pour conserver la même précision, à utiliser des compensateurs de ligne réglés sur place une fois pour toutes. Les limites précédentes peuvent être ainsi multipliées par dix.

La transmission système pont de Wheatstone peut être utilisée pour des transmissions autres que celles de températures. Le fil calibré émetteur est alors lié à la grandeur que l'on veut transmettre : par exemple, la course du fil calibre correspondra à la descente d'une sonde de haut fourneau dont on pourra enregistrer à distance la position exacte.

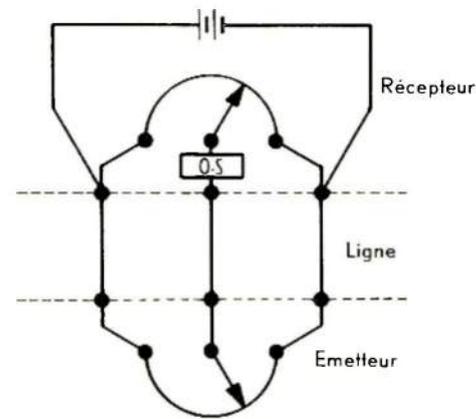


Fig. 29

TRANSMISSION PAR INDUCTANCE MUTUELLE TYPE T.D. — Ce dispositif n'est signalé ici que pour mémoire ; il n'est guère utilisé sur les pyromètres. Son intérêt réside dans le fait que le couple d'entraînement de l'émetteur est très faible. On l'utilise sur les appareils à déviation tels que nos débitmètres et manomètres.

BOITES A CLÉS

On utilise des clés pour brancher facilement des détecteurs sur des appareils et les en débrancher. Le problème est en général, soit de pouvoir brancher à volonté sur un appareil à une direction, le plus souvent indicateur, l'un quelconque d'un certain nombre de détecteurs, soit (pour les potentiomètres seulement et non pour les thermomètres à résistance) de pouvoir débrancher temporairement d'un appareil enregistreur à plusieurs directions l'un de ses détecteurs pour le relier à un indicateur. Ces questions ont été déjà examinées dans un cas particulier lors de la description de l'indicateur Speedomax à tambour (page 34) : les clés étaient alors groupées sur l'appareil lui-même ; elles peuvent l'être dans d'autres cas sur un coffret séparé appelé boîte à clés.

Les clés, genre clés téléphoniques, à large balayage et à contacts inaltérables, sont bipolaires si les détecteurs sont des thermocouples ou des lunettes à radiation, tripolaires pour des résistances thermométriques, le troisième contact ayant dans ce cas pour but d'adopter un schéma qui permette de minimiser l'influence des résistances de contact.

Pour les deux applications énoncées ci-dessus on utilise des clés qui comportent deux positions dites de travail, correspondant à deux détecteurs différents, et une position de repos.

Si l'on a besoin de brancher à volonté sur un appareil l'un quelconque d'un certain nombre de détecteurs du type thermocouple ou lunette à radiation, on utilise des clés bipolaires simples. La position repos correspond à un non-branchement.

Si l'on a, avec le même genre de détecteurs, de pouvoir débrancher l'un d'eux d'un appareil enregistreur pour le brancher sur un indicateur, on utilise des clés bipolaires inverseurs. La position de repos correspond au branchement normal du détecteur.



Ces deux types de clés, ainsi que la clé tripolaire, sont prévus le plus souvent avec retour à la position de repos dès que l'opérateur cesse d'agir pour les maintenir dans une position déterminée. La clé est dite du type **non accroché**. Il est possible d'utiliser, mais ceci a rarement de l'intérêt pour les applications prévues ci-dessus, des clés du type **accroché** qui se maintiennent au contraire dans la position quelconque où on les a placées. Quand on utilise ce type de clé pour déconnecter un détecteur d'un enregistreur auquel il est normalement relié, il peut être prévu de manière à mettre alors la direction correspondante en court-circuit sur cet appareil et à éviter ainsi un tracé erratique si le détecteur doit rester longtemps déconnecté (1).

Il est donc nécessaire de bien préciser, pour le choix d'une boîte à clés, la nature du détecteur, si celui-ci est normalement relié ou non à un appareil dont il serait déconnecté pour être branché sur un autre, si on désire que les clés soient du type non accroché ou accroché.

D'autres buts peuvent être poursuivis que ceux que nous avons indiqués et correspondre à des clés spéciales dont la désignation devra être soigneusement notée pour éviter toute erreur.

Les boîtes à clés peuvent être livrées en deux types :

Les boîtes à clés du premier type sont portatives. On les utilise dans les montages sur table ou en laboratoire. Le boîtier est en ébénisterie. Les bornes d'entrée et de sortie sont placées sur la plaque supérieure qui supporte également les clés.

Les boîtes à clés du second type, type mural-tableau (fig. 30), sont destinées à être installées verticalement de façon fixe. Le boîtier est en matière moulée. Son encombrement est donné page 79, le mode de sortie des fils page 83.

Clés bipolaires interrupteurs :

type non accroché MS-35-A2.

type accroché MS-35-A1.

Clés bipolaires inverseurs :

type non accroché MS-36-A2.

type accroché MS-36-A1.

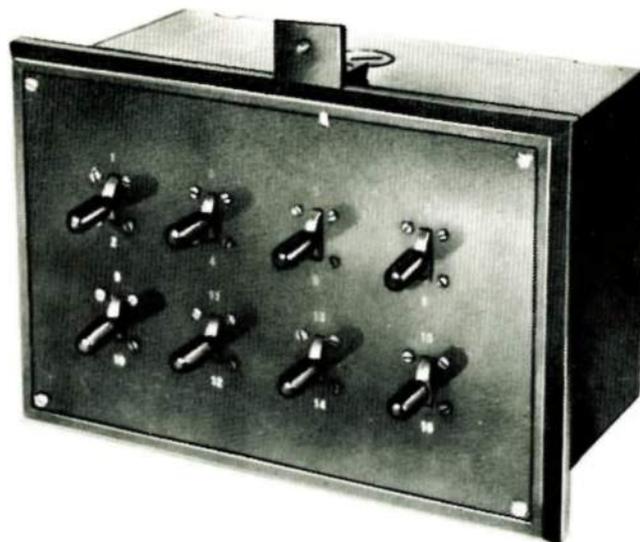


Fig. 30



(1) L'emploi de clés du type accroché a l'inconvénient de permettre une fausse manœuvre consistant à brancher sur le même indicateur deux ou plusieurs détecteurs; il demande donc plus d'attention.

TABLEAUX DE BARRES

Il peut arriver que le nombre total des thermocouples dépasse celui des directions de l'enregistreur, en particulier quand ces thermocouples se trouvent placés sur des installations qui ne sont jamais en fonctionnement simultané.

On réduit alors parfois le prix de l'installation pyrométrique en employant un potentiomètre enregistreur comportant juste un nombre de directions égal au nombre maximum de thermocouples qui peuvent être simultanément en service, et en utilisant un tableau de barres du genre de celui représenté figure 31, qui permet de brancher les thermocouples momentanément intéressants.

Un tel dispositif permet également de brancher sur plusieurs directions de l'enregistreur ou même sur toutes, un thermocouple qui présente à un moment donné un intérêt particulier.

Les tableaux de barres ne s'emploient normalement qu'avec les thermocouples.

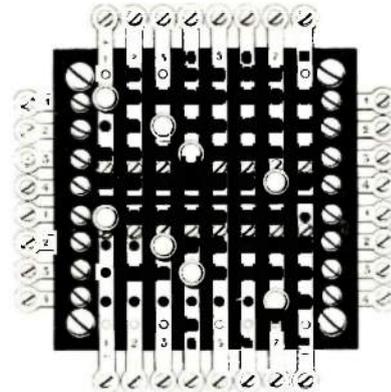


Fig. 31

CONTACTS

Outre les contacts de régulation décrits page 42, on peut équiper nos appareils de contacts ayant d'autres fonctions : contacts à maximum déclenchant une alarme, contacts mettant en jeu une minuterie lorsqu'une certaine température est atteinte, contacts de signalisation lumineuse, etc...

Ces contacts sont du même type que ceux utilisés en régulation. Ils peuvent être « à maximum » ou « à minimum ».

Contrairement à ce qui se passe pour la régulation, le point de fonctionnement de ces contacts n'a généralement pas à être modifié fréquemment. Il est toujours possible de le faire éventuellement en desserrant un écrou moleté et en décalant convenablement les disques, ce qui n'interrompt le fonctionnement de l'appareil que pendant peu de temps. Les contacts sont dits « ajustables », lorsqu'on ne dispose que de cette possibilité.

Dans certains cas, où l'on désire modifier fréquemment la position des contacts, on peut avoir recours aux mêmes dispositifs de commande de leur point de fonctionnement que ceux indiqués pages 43 et 44 pour les régulateurs. Les contacts sont dits « réglables ».

Des contacts ajustables et des contacts réglables peuvent coexister sur le même appareil ; leur nombre maximum, qui dépend de l'encombrement, est variable suivant les appareils et il y a lieu de nous consulter dans chaque cas.

En général ces contacts sont utilisés avec relais intermédiaire. Les types de relais utilisés dépendent du problème à résoudre et doivent dans chaque cas particulier être précisés.

Sur des appareils à plusieurs directions on peut limiter l'action des contacts à certaines directions, l'emploi des directions étant néanmoins le cas le plus simple.

Il y a lieu de bien préciser dans chaque cas particulier pour quelles directions doit agir chacun des contacts prévus et si l'on désire utiliser un dispositif d'alarme propre à chaque direction ou commun à certaines d'entre elles.



Contacts pour signalisation 3 lampes 5 combinaisons. — C'est un cas particulier d'utilisation des contacts ci-dessus. Un jeu de contacts alimente trois lampes donnant un signal vert, un signal blanc et un signal rouge.

L'allumage se produit comme ci-dessous :

Lampe verte : température trop basse :

Lampe verte et lampe blanche : température un peu basse.

Lampe blanche : température correcte ;

Lampe blanche et rouge : température un peu élevée ;

Lampe rouge : température trop élevée.

Les écarts peuvent être ajustés à volonté.

La boîte à lampes n'est pas de notre fourniture.

RELAIS

Le pouvoir de coupure des contacts de réglage ou de signalisation des appareils est insignifiant, d'autant plus que les variations de température n'en provoquent qu'une ouverture très lente ; il est nécessaire de faire travailler les contacts à la fermeture et d'interposer un relais. L'emploi d'un relais serait d'ailleurs de toute façon indispensable avec les appareils à plusieurs directions dans lesquels une impulsion n'est donnée qu'une fois l'appareil complètement équilibré.

Il est recommandé d'employer un relais à autoalimentation ou un relais à deux bobines, l'un et l'autre évitant les étincelles de rupture.

Le relais à autoalimentation est le plus utilisé. Un exemple de schéma a été donné page 42 figure 25.

Le relais à deux bobines est le seul convenable dans certains cas spéciaux que nous avons signalés dans le cas de la régulation. Dans les cas non envisagés, le choix du relais ne pourra être fait qu'après l'étude complète du schéma.

Nous pouvons fournir l'un ou l'autre type de relais sur demande.

Le relais à autoalimentation MS 91 A a un contact d'utilisation inverseur. Le pouvoir de coupure est de 6 ampères sous 110 V et 3 ampères sous 220 V.

La tension d'alimentation de la bobine est de préférence 115 V, mais peut être 220 V.

Se reporter pour le schéma à la figure 25.

Le relais à autoalimentation MS 93 permet, dans les signalisations sonores et optiques, de couper l'alimentation du signal sonore (qui doit être muni d'un relais à autoalimentation) tout en conservant la signalisation lumineuse. Si ce signal sonore est commun à plusieurs relais de ce type il n'en fonctionne pas moins lors de l'enclenchement d'un autre relais. Le relais MS 93 A est alimenté par une tension continue 115 V ; le relais MS 93 B pour une tension alternative 115 V, 50 Hz.



ACCESSOIRES DIVERS

Suspensions élastiques. — Lorsque les panneaux sur lesquels doivent être montés les appareils sont soumis à des vibrations importantes, il peut être nécessaire, surtout pour les appareils Micromax, de prévoir une suspension élastique. Les dispositions adoptées sont différentes suivant le mode de montage, encastré ou en saillie, qu'on aura à nous préciser (voir notice NTP 11 - 1).

Socle en Fonte AR-600.

Ce socle permet de faire fonctionner les appareils automatiques sur table.

Cannes Fusibles.

Ce sont des cannes de sécurité protégeant les fours d'une défaillance de l'équipement de contrôle.

Ces cannes ont l'aspect extérieur des cannes CP 3 A (page 64). Dans celle livrée le plus fréquemment une gaine en acier inoxydable protège un circuit en fil de chromel dans lequel a été inséré un fusible en or. Si par accident la température de fusion est atteinte, (environ 1063°) le circuit est ouvert et provoque l'interruption du chauffage.

On placera ces cannes, par exemple, dans le circuit d'alimentation des relais.

QUELQUES DISPOSITIONS SPÉCIALES

Dispositifs de sécurité. — En cas de coupure d'un thermocouple ou de panne d'un amplificateur, on peut prévoir sur demande des dispositifs tels que la plume ou la molette enregistreuse soit envoyée à l'extrémité supérieure ou éventuellement inférieure de l'échelle. L'appareil comporte alors un contact à maximum ou à minimum signalant le défaut. Ces dispositifs sont surtout employés sur les appareils régulateurs. En Micromax, le dispositif de protection en cas de rupture de thermocouple n'est réalisable que sur les appareils à une direction et ayant une étendue d'échelle supérieure à 20 millivolts.

Fonctionnement discontinu du déroulement du diagramme.

Dans certains appareils à vitesse de déroulement du diagramme rapide il peut être intéressant de ne pas dérouler le papier diagramme en permanence. Il peut alors être prévu, moyennant un supplément, soit un interrupteur permettant une commande indépendante de ce déroulement, soit un dispositif automatique commandé par exemple lorsque l'index inscripteur quitte l'une des extrémités de l'échelle, soit une combinaison des deux dispositifs.

Pour connaître les possibilités d'application de ces dispositifs il sera nécessaire de nous consulter.



Dispositif pour enregistrement sans réenroulement. — On peut désirer pouvoir examiner une grande longueur de papier diagramme sans interrompre l'enregistrement. L'appareil peut alors être commandé, avec, à la partie inférieure de la porte, une fente laissant passer le papier diagramme qui est tendu par un poids.

Une règle horizontale facilite le découpage du diagramme. Cette disposition ne permet pas l'emploi d'un appareil étanche.

Dispositif économiseur de papier. — Utilisable sur les appareils à diagramme déroulant, cet accessoire fourni sur demande peut être employé lorsqu'on doit couper de temps à autre la portion de diagramme enregistrée. Quand il vient d'être coupé le papier diagramme devrait être déroulé sans être utilisé sur une longueur de l'ordre de 400 mm pour amorcer le réenroulement. Le dispositif économiseur est un complément du dispositif de réenroulement qui vient accrocher le papier diagramme quelques centimètres au dessous du dispositif inscripteur et le tendre, de manière qu'il puisse être utilisé pour l'enregistrement puis ensuite réenroulé.

Une réglette horizontale facilite le découpage du diagramme.

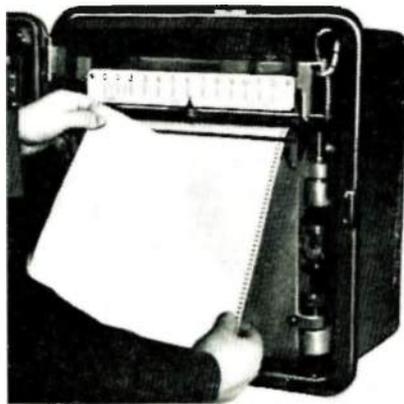


Fig. 32

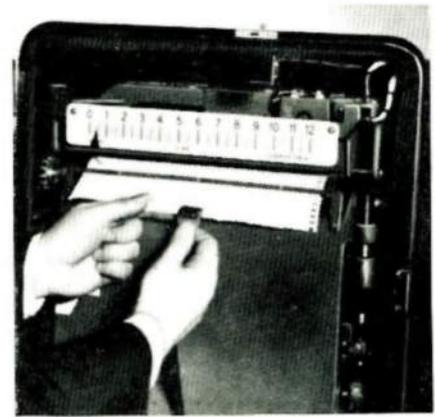


Fig. 33

Dispositif inscripteur auxiliaire. — Ce dispositif, monté sur demande sur un enregistreur, est constitué par une petite plume à réservoir placée sur l'extrémité gauche du diagramme, aligné à la hauteur du dispositif inscripteur et actionné par un petit relais que l'on peut alimenter de l'extérieur. Ce dispositif permet de repérer sur le diagramme, par une courbe en forme de créneaux, les phases d'une opération extérieure dont on désire suivre l'évolution en concomitance avec celle de la température. L'inscription obtenue en marge se présente sous l'une des deux formes indiquées ci-dessous et n'empiète pas sur la largeur utile du diagramme dans le cas d'un appareil à plume. Dans le cas d'un appareil à molette imprimeuse la largeur utile du diagramme est réduite d'un centimètre.

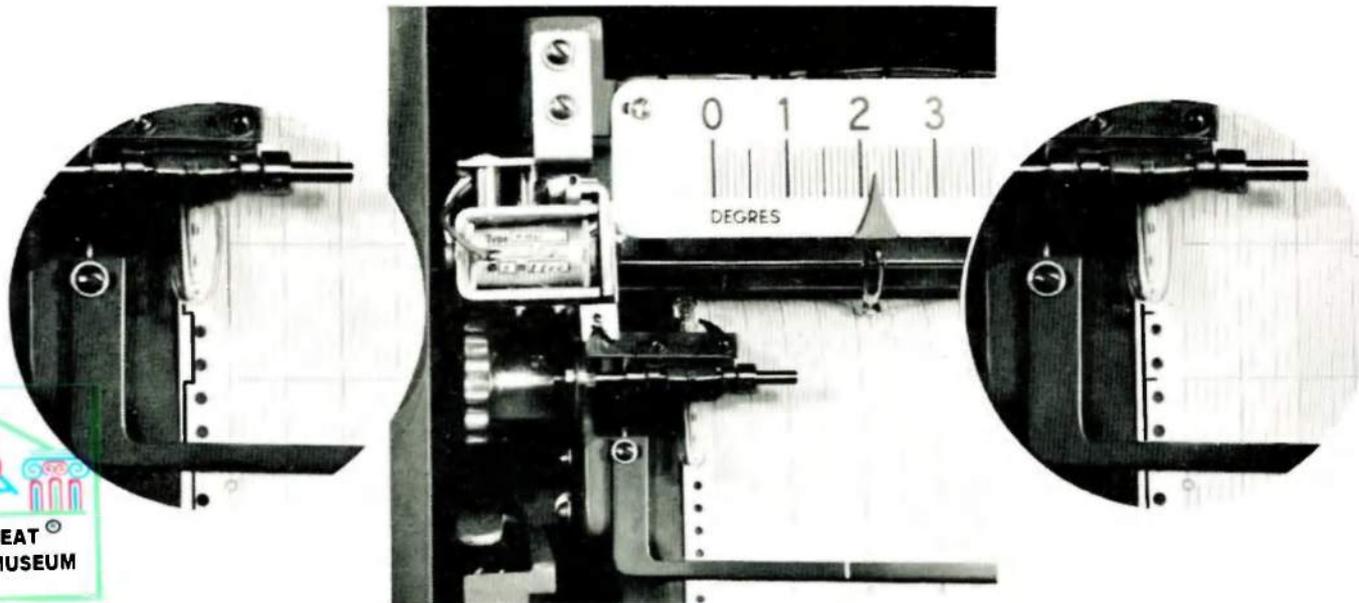


Fig. 34

Glace abaissable. — Pour faciliter les annotations sur le diagramme lors d'une opération, une partie de la vitre des enregistreurs à diagramme déroulant peut être prévue, sur demande, de manière à pouvoir coulisser vers le bas, découvrant la partie fraîchement enregistrée du diagramme.

Changement de vitesse manuel du déroulement du diagramme. — Ce dispositif permet de changer instantanément cette vitesse par la manœuvre d'un petit levier immobilisé par une vis à tête moletée (voir fig. 36). Le rapport entre les deux vitesses peut être choisi à la commande de 3, 10 ou 30. La valeur de la vitesse supérieure est à choisir parmi celles du tableau page 75.

Éclairage. — A l'exception de nos indicateurs à tambour, aucun éclairage de l'échelle n'est normalement prévu sur nos appareils. Moyennant un supplément il peut être prévu dans nos enregistreurs à diagramme déroulant soit un éclairage incandescent soit un éclairage fluorescent. Ce dernier est recommandé pour un enregistrement multicolore (fig. 37).



Fig. 35

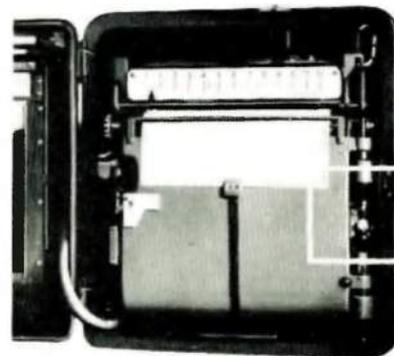
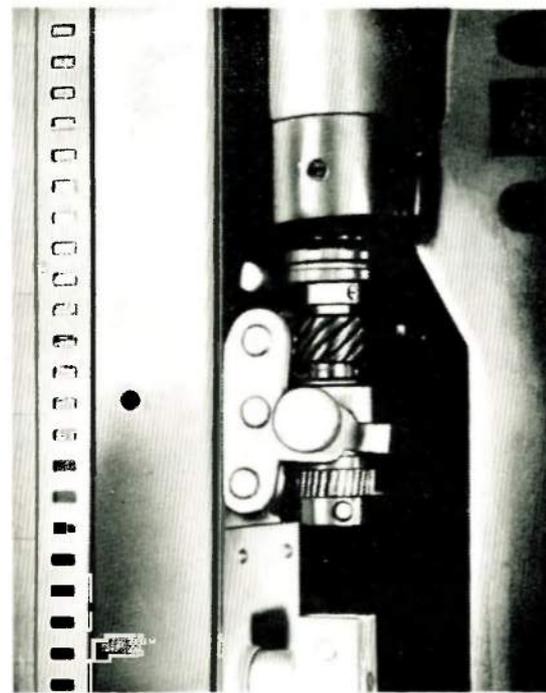


Fig. 36



Fig. 37

LES DÉTECTEURS

Ce chapitre est consacré aux détecteurs dont les caractéristiques générales ont été étudiées dans les généralités. En même temps que des précisions pratiques les concernant on y trouvera des indications sur les accessoires que nécessite leur emploi.

THERMOCOUPLES ACCESSOIRES D'EMPLOI

Il faut, pour l'exactitude des mesures, employer des thermocouples dont les forces électromotrices ne diffèrent que très peu de celles résultant de la table de correspondance température-millivolts adoptée pour cette nature de couple et dont les caractéristiques se modifient le moins possible à l'usage. D'où certaines nécessités exposées ci-dessous.

THERMOCOUPLES EMPLOYÉS. — Les fils doivent présenter au maximum des qualités de pureté, d'homogénéité et de non écrouissage.

Les couples que nous fournissons normalement sont les suivants (1) :

Cuivre-Constantan	: de -200 à $+300^{\circ}\text{C}$, température maximum 400°C
Fer-Constantan	: de 0 à 700°C , température maximum 1.000°C
Chromel-Alumel	: de 0 à 1.150°C , température maximum 1.200°C
Platine Rhodié 10 %,-Platine	: de 0 à 1.400°C , température maximum 1.600°C

On dépasse parfois notablement pour le chromel-alumel le maximum de 1.200° que nous avons indiqué. Il s'agit alors d'applications où, par suite d'autres causes possibles de détérioration, on préfère se résigner à une vie très brève du thermocouple chromel-alumel plutôt que de risquer de sacrifier un couple platine rhodié-platine.

La température de 1.600°C indiquée comme un maximum pour le platine rhodié-platine peut aussi être dépassée et portée aux environs de 1.700°C si l'intérêt de l'opération justifie la dépense résultant de la mise hors service très rapide des thermocouples.

Les diamètres courants sont les suivants en mm :



Cuivre-Constantan	: 5/10 pour chaque élément.
Fer-Constantan	: 5/10, 8/10, 16/10 et 32/10
Chromel-Alumel	: 3, 2/10, 6/10, 10/10, 16/10, 32/10
Platine Rhodié 10 %,-Platine	: 5/10; exceptionnellement 3, 5/10.

ULTIMHEAT[®] VIRTUAL MUSEUM

(1) Nous employons aussi, mais assez rarement des couples chromel-constantan. Leur utilisation peut être indiquée quand, comme dans certains fours de recuit, les couples doivent être employés sans gaine de protection à ces températures dépassant d'une façon continue 800° dans une atmosphère pouvant être par moment réductrice.

Les couples que nous livrons présentent toujours une bonne exactitude, suffisante pour la pratique industrielle. Les tolérances garanties sont :

Cuivre-Constantan	: de -180 à -60°C : ± 2 ‰
	de -60 à $+90^{\circ}\text{C}$: $\pm 0,8$ ‰
	de $+90$ à $+370^{\circ}\text{C}$: $\pm 0,75$ ‰
Fer-Constantan	: de 0 à 300°C : $\pm 2,8$ ‰
	de 300 à 800°C : ± 1 ‰
Chromel-Alumel	: de 0 à 300°C : $\pm 2,8$ ‰
	de 300 à 1.200°C : $\pm 0,75$ ‰
Platine Rhodié-Platine	: de 0 à 550°C : $\pm 2,8$ ‰
	de 550 à 1.500°C : $\pm 0,5$ ‰

Nous pouvons fournir des couples spéciaux dont les tolérances sont moitié des précédentes.

Pour des mesures de précision, des couples avec étalonnage individuel effectué en un plus ou moins grand nombre de points peuvent être fournis.

Une grande pureté des métaux utilisés pour le thermocouple platine rhodié - platine est indispensable pour éviter un désétalonnage rapide.

SURVEILLANCE DES THERMOCOUPLES. — De bons thermocouples bien protégés gardent généralement leur étalonnage beaucoup mieux qu'on ne le croit parfois. Une vérification périodique n'en est pas moins indispensable.

L'emploi de la méthode des points de fusion ou d'ébullition étant trop délicat pour beaucoup d'utilisateurs, nous conseillons d'opérer par comparaison avec un couple étalon, que nous pouvons fournir, en utilisant, pour la mesure, le pyromètre potentiomètre portatif ESPM décrit p. 22.

Une notice spéciale NTP-9 est consacrée à cette question.

ISOLATION ÉLECTRIQUE. — Les deux fils constituant un thermocouple doivent être isolés entre eux. On utilise le plus souvent à cet effet des isolateurs cylindriques en céramique, percés de deux trous (fig. 38), quelquefois de quatre lorsque deux thermocouples doivent être introduits dans la même gaine. Leur longueur, leur diamètre et celui des trous, varient suivant l'emploi. Pour les thermocouples platine rhodié-platine, les isolateurs diffèrent par leur nature de ceux des autres couples; ils sont en alumine pure pour minimiser l'altération du couple à leur contact. Ils en diffèrent également par leurs dimensions et leur disposition de manière à ne pas exercer par leur poids un effort mécanique exagéré sur le fil; en particulier on utilise généralement dans ce cas des isolateurs à un trou, chacun d'eux n'étant par conséquent utilisé que pour un seul fil.

Dans la mesure de températures relativement basses, on utilise parfois d'autres moyens d'isolation tels que tresse en fibre de verre, imprégnée ou non de silicone, en amiante et, pour des températures inférieures à 100° , tresse en soie, ou simplement couche de vernis.



Fig. 38

GAINES DE PROTECTION. — L'emploi de gaines de protection est généralement nécessaire pour empêcher l'altération des thermocouples. La nécessité d'une bonne protection est particulièrement grande pour les couples Chromel-Alumel et Platine rhodié - platine qui sont très sensibles à l'action des gaz réducteurs. On peut parfois s'en dispenser, même pour ces couples, dans les fours électriques quand on a la certitude d'opérer en atmosphère d'air pur.

Dans le cas assez exceptionnel où leur rôle doit être purement mécanique on pourra prendre des gaines ouvertes à leur extrémité.

Le choix des gaines de protection dépend du milieu et de la température. Des tubes métalliques, de natures différentes suivant les cas, sont généralement employés pour protéger les thermocouples en métaux communs, des tubes en réfractaire spécial pour les thermocouples en Platine rhodié - platine destinés à des températures plus élevées.

Le choix d'une gaine adéquate, de bonne qualité et non poreuse, a beaucoup d'importance, une protection insuffisante étant à la base des désétalonnages rapides et au rebut prématuré des thermocouples.

Aux températures supérieures à 500°C, le rayonnement assure des échanges thermiques tels qu'il n'y a aucun intérêt à un contact entre la gaine et le thermocouple.

Il n'en est pas de même pour les températures inférieures et on cherche à améliorer la liaison thermique entre gaine et couple. S'il est facile de retirer la canne pyrométrique on pourra souder le thermocouple à l'extrémité de la gaine; s'il n'en est pas ainsi il est recommandable d'utiliser des couples spécialement étudiés pour assurer leur contact avec la gaine.

Nous donnons ci-après un tableau énumérant les principales natures de gaines et donnant des exemples de leurs conditions d'utilisation.

Ce tableau n'est qu'une indication; toutes les conditions d'emploi n'ont pu y être envisagées et on n'y a fait figurer que les natures de gaines les plus courantes.

GAINES MÉTALLIQUES

Nature	Temp. Max. d'utilisation	Exemples d'utilisation et observations	Diamètre intérieur et extérieur des gaines			
Acier ordinaire	400°C	Fumées	8 - 13	12 - 17	15 - 21	20 - 27
Fer pur	700°C	Bains de sel	8 - 13		15 - 21	17 - 27
Acier 18 8	700°C	Industries chimiques		12 - 17	15 - 21	20 - 27
Acier calorisé	700°C	Fumées - peu coûteux			15 - 21	20 - 27
Acier réfractaire au Nickel-Chrome	1.000 à 1.100°C	Emploi très général sauf en milieu sulfureux				20 - 27
Acier à 28 % de chrome	1.000 à 1.100°C	Emploi très général en particulier en milieu sulfureux.			15 - 21	17 - 27
Inconel	1.000 à 1.100°C	Bains de sel de cyanuration.			15 - 21	20 - 27



GAINES RÉFRACTAIRES

Nature	Temp. Max. d'utilisation	Exemples d'utilisation et observations	Diamètre intérieur et extérieur des gaines
Alumine pure	1.600°C	Usage limité en raison de son prix.	8 × 12 12 - 17 20 - 26
Silico Alumineux Etanche	1.500°C	Usage courant	8 × 12 12 - 17 20 - 26
Silico Alumineux Non Etanche	1.500°C	Utilisées seulement pour protéger d'une attaque chimique (poussières) et des chocs thermiques la gaine étanche renfermant le couple dans les cannes CP 9.	20 - 26 26 - 34
Silice	1.500°C	Mêmes observations. Au dessus de 1.300° présente peu d'intérêt (transformation progressive de la silice).	21 × 26

CANNES PYROMÉTRIQUES. — On entend par canne pyrométrique l'ensemble des éléments permettant l'utilisation industrielle d'un thermocouple. Elle comprend le thermocouple lui-même avec ses isolateurs, la gaine de protection, éventuellement des dispositifs de fixation de celle-ci sur la paroi traversée, enfin un organe de raccordement (appelé connecteur) du thermocouple au câble de compensation généralement enfermé dans une tête de canne. Cette tête de canne, en fonte ou en alliage léger suivant les cas, permet un accès facile pour cette connexion.

Il arrive qu'on ait à éloigner la tête de canne de la paroi car le fil de compensation qui y aboutit ne doit pas être porté à une température où sa force électromotrice différerait de celle du thermocouple (page 11); la limite est aux environs de 70°. Pour éviter dans ce cas une dépense exagérée en acier spécial on peut, au lieu de monter la tête de canne à l'extrémité de la gaine de protection, prolonger celle-ci par un tube en acier ordinaire, et c'est à l'extrémité de ce prolongement que sera fixée la tête de canne.

Quand une attaque chimique par le milieu ambiant est à craindre on peut chercher à rendre la tête de canne plus étanche en la munissant de presse-étoupe. Si cette disposition devait être insuffisante il pourrait y avoir lieu de raccorder à la tête un tube souple étanche protégeant le fil de compensation jusqu'à une atmosphère moins nocive.

Un certain nombre de modèles de cannes ne comportent pas de dispositif de fixation particulier; nous pouvons néanmoins sur demande livrer avec ces cannes des brides en fonte qui peuvent être fixées sur la gaine par serrage d'une vis. D'autres cannes se vissent sur un bossage à filetage femelle que l'utilisateur doit prévoir sur son installation: c'est le cas de la canne CP 6.

On trouvera ci-après un tableau de nos modèles les plus courants de cannes pyrométriques.

Lors d'une consultation il y a lieu de spécifier **l'ordre de grandeur de la température à mesurer, la nature du milieu dans lequel se trouvera plongée la canne, le modèle désiré et ses dimensions** suivant les indications des tableaux pages 62, 63 et 64.

En dehors des modèles mentionnés sur le tableau nous construisons des cannes adaptées à des problèmes particuliers, telles que :

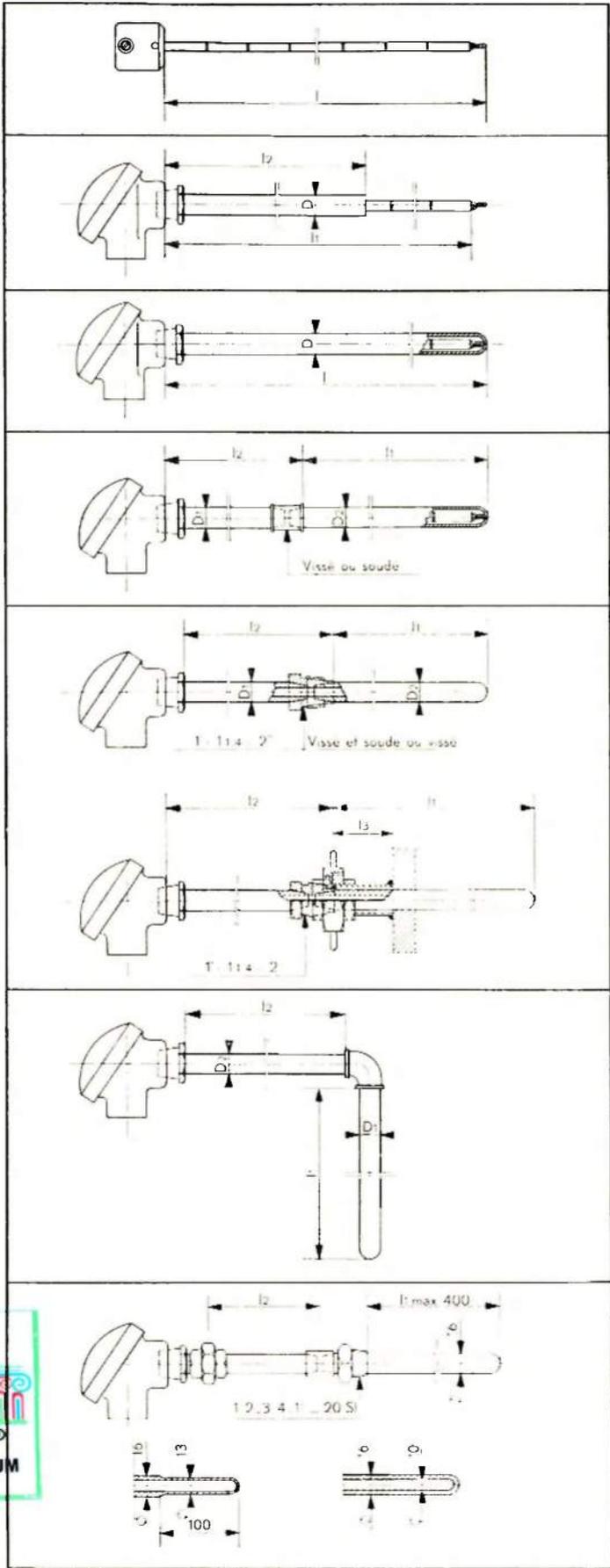
— Canne pour température de feeder pour les verreries.

— Canne pour température de métaux en fusion.

— Cannes types miniature, CP 13 par exemple, pour température de paliers, avec tête miniature à sortie par câble souple.

— Couple hypodermique, etc...





Canne CP-1-A — Tête en matière moulée non étanchée

Canne CP-2-A — Protection mécanique par gaine ouverte

Canne CP-3-A — Protection par gaine métallique fermée.

Canne CP-7-A — Protection par gaine réfractaire (Généralement pour couple platine rhodié-platine)

Canne CP-9-A — Deux gaines réfractaires

Canne CP-3-B — Gaine métallique et prolongement assemblés par vissage ou soudure autogène*

Canne CP-3-C — Avec bouchon fileté vissé, ou vissé et soudé sur la gaine métallique*. Prolongement en acier ordinaire. Bouchons filetés à 1" - 1" 1/4 - 2" suivant longueur l et les gaines

Canne CP-3-C — Avec raccord union pour parois métalliques. Tube raccord à souder longueur l_3 fourni sur demande

Canne CP-5-A — Raccord vissé

Canne CP-5-B — Au lieu du coude vissé, on soude les gaines directement (Bans ce sel de cyanuration)

Canne CP-6-C — Gaine usinée dans la masse avec son bouchon fileté

* Les gaines en acier colorisé ne permettent pas la soudure des prolongements ou bouchons filetés

Note : Les cotes des diamètres sont à choisir d'après le tableau se rapportant aux gaines de protection, les cotes de longueur sont à indiquer à 100 mm près pour les cannes longues.



CABLE DE COMPENSATION. — On a vu page 11 le rôle de ce câble.

L'influence de la qualité des fils qui le composent sur l'exactitude des mesures ne retient pas toujours suffisamment l'attention. Plus encore que pour les thermocouples on est tenté parfois de diminuer légèrement le prix d'une installation par l'emploi d'un fil de compensation bon marché. On aboutit ainsi à des erreurs qui sont très loin d'être négligeables.

Nous rappelons que, pour les câbles indiqués ci-dessous, la limite d'emploi est d'environ 70°. Les fils constitutifs doivent être isolés entre eux et isolés de la masse pour éliminer des erreurs provenant de courants parasites.

Le revêtement isolant devra être suffisamment étanche pour ne pas perdre par humidité ses qualités d'isolation. Il devra éventuellement pouvoir résister à des actions destructrices provenant des conditions d'emploi : température, actions chimiques ou mécaniques.

Ces diverses considérations nous ont conduit à l'adoption d'un certain nombre de revêtements différents. Dans ces revêtements on utilise le caoutchouc naturel, le chlorure de vinyle, la soie de verre imprégnée au vernis silicone.

Le caoutchouc est dissous par les hydrocarbures et notamment par l'essence ; il devient dur et cassant pour des températures supérieures à 50°.

Le chlorure de vinyle résiste bien à de nombreux agents chimiques et peut être utilisé jusqu'aux environs de 70°.

La soie de verre résiste très bien à la chaleur. Son imprégnation au silicone lui confère une bonne imperméabilité. L'ensemble résiste bien à beaucoup d'agents chimiques.

Comme on le verra plus loin une enveloppe extérieure telle que gaine de plomb ou tresse d'acier galvanisé est en outre employée, en cas de besoin, comme protection mécanique.

Dans la mesure du possible, les isolations comportent des repères qui permettent d'identifier les câbles correspondant aux différents thermocouples et la polarité des conducteurs.

Le repère **rouge** correspond au pôle **négatif**.

Les couleurs extérieures des tresses sont :

Rouge	pour le couple	Cuivre-Constantan
Noire	—	Fer-Constantan
Jaune	—	Chromel-Alumel
Bleue	—	Chromel-Constantan
Blanche	—	Platine Rhodié-Platine

L'ÉLÉMENT POSITIF EST DANS NOS DÉSIGNATIONS NOMMÉ LE PREMIER

Les fils conducteurs de nos câbles de compensation ont, en général, un diamètre de 15/10; leurs résistances ohmiques, pour une longueur de 100 m, sont respectivement d'environ :

Câble pour Cuivre-Constantan	30 ohms
— Fer-Constantan	35 ohms
— Chromel-Alumel	30 ohms
— Chromel-Constantan	90 ohms
— Platine Rhodié-Platine	6 ohms



Leurs résistances ohmiques n'ont généralement pas d'importance; ils ne sont donnés ici que pour permettre de veiller à ne pas dépasser avec un appareil Micromax une résistance de ligne d'environ 35 ohms.

Nous fabriquons également des câbles de compensation souples constitués en fils divisés de faible diamètre que l'on peut employer dans la partie de la ligne située au voisinage de la tête de canne.

Un câble de compensation est désigné par un ensemble de lettres-symboles.

La première est la lettre **K** qui caractérise tous les câbles de compensation.

Les deux lettres suivantes caractérisent la nature du couple utilisé. Ce sont :

QK pour le **Cuivre-Constantan**

FK — **Fer-Constantan**

CA — **Chromel-Alumel**

CK — **Chromel-Constantan**

RP — **Platine Rhodié-Platine**

Les dernières lettres caractérisent la nature du revêtement : la première d'entre elles R ou S indiquant s'il s'agit d'un câble rigide ou souple. L'énumération en est donnée ci-dessous.

RC.	Chaque conducteur sous caoutchouc et coton Tresse extérieure coton imprégnée.	méplat 6 - 9
RC-P.	Identique à RC. avec, en plus, une gaine plomb.	cylindrique ø ext. : 12 mm.
RC-TM.	Identique à RC. avec, en plus, revêtement tresse acier galvanisé	méplat 7 - 10
RCH.	Chaque conducteur sous caoutchouc et coton gaine chlorure de vinyle	rond ø : 8,5
RHT.	Chaque conducteur sous gaine chlorure de vinyle - tresse coton ignifugée, imprégnée	méplat 5 - 8
RH.	Chaque conducteur sous chlorure de vinyle gaine extérieure chlorure de vinyle	rond ø : 9 mm
RV.	Chaque conducteur sous tresse fibre de verre imprégnée silicone, assemblés sous tresse fibre de verre imprégnée silicone.	méplat 3 - 5
RV-P.	Identique à RV. avec en plus, une gaine plomb	rond ø ext. : 6,5
RV-TM.	Identique à RV. avec, en plus, protection par tresse acier galvanisé	méplat 4 - 6
SH.	Câble souple, conducteurs en fils divisés, sous chlorure de vinyle, gaine en chlorure de vinyle.	rond ø ext. : 6,5

Exemple de désignation complète d'un câble pour couple Chromel-Alumel, sous caoutchouc et tresse coton imprégnée :

KCA. RC.

Tous les revêtements du tableau ci-dessus ne sont pas utilisés pour chaque nature de thermocouple ; nous précisons ci-après, en regard de chaque symbole de nature de couple celles des revêtements existant pour celui-ci :

	QK.	RC.	RC.-P.	RC.-TM.							
	FK.	RC.	RC.-P.	RC.-TM.	RCH.	RHT.	RH.	RV.	RV.-P.	RV.-TM.	SH.
	CA.	RC.	RC.-P.	RC.-TM.		RHT.		RV.	RV.-P.	RV.-TM.	SH.
	CK.	RC.	RC.-P.	RC.-TM.							
	RP.							RV.	RV.-P.	RV.-TM.	

LUNETTES A RADIATION TOTALE ACCESSOIRES D'EMPLOI

Le principe et l'opportunité d'emploi des lunettes à radiation totale ont été exposés page 12 et suivantes. Nous en construisons deux modèles :

- le modèle à lentille RTL;
- le modèle à double miroir RTM.

La lunette à double miroir est très étanche; son corps peut être porté jusqu'à une température de 160° alors que nous ne garantissons le fonctionnement correct de la lunette à lentille que jusqu'à 60°, ceci ne provenant pas seulement de l'emploi de matériaux différents, mais aussi d'une compensation plus soignée (page 12) qui permet de faire correspondre à une température mesurée la même force électromotrice pour une variation plus grande de la température du corps de lunette.

Enfin elle se prête mieux que la lunette à lentille à la mesure de températures basses.

Ce n'est qu'en raison de son prix plus bas qu'on peut être amené à adopter la lunette à lentille.

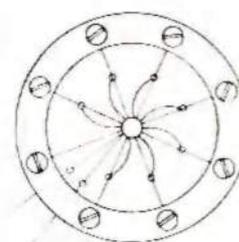
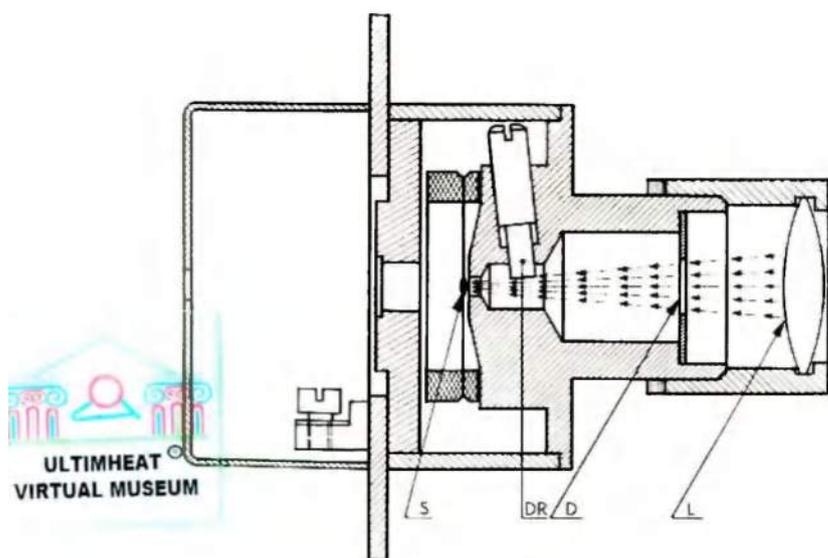
Rappelons que pour ces deux modèles la mise au point a été faite une fois pour toutes, en nos ateliers, pour une distance de 60 cm. La latitude pour la distance de visée dépend du diamètre de la source comme il est exposé page 12. Pour certaines applications on peut, sur demande, régler la lunette pour une distance de visée inférieure à 60 cm; on peut aussi pour d'autres applications très particulières, fournir des lunettes dont le champ, au moyen d'un dispositif approprié, diffère de celui des lunettes normales.

Les temps de réponse indiqués par la suite se définissent par les temps nécessaires pour que la force électromotrice de la lunette ait atteint une valeur ne différant de la valeur finale que de 1 %, de la variation.

Lunette à lentille **RTL**

La lunette est représentée en coupe schématique figure 39, en photographie figure 41.

La lentille en quartz L concentre l'énergie rayonnée sur la pastille S où sont rassemblées les soudures chaudes de 8 thermocouples dont les soudures froides sont réparties tout autour. L'ensemble de la thermopile ainsi constituée forme une sorte d' « araignée » représentée figure 40.



Un diaphragme fixe D limite le rayonnement reçu. Un diaphragme réglable DR, simple vis que l'on fait pénétrer plus ou moins dans le faisceau, complète le précédent dans certaines lunettes pour donner mêmes caractéristiques à plusieurs lunettes utilisées avec le même appareil. Il est réglé une fois pour toutes dans nos ateliers.

Les bornes de sortie sont protégées par un capot amovible.

Un trou de visée en arrière de la pastille permet de s'assurer du centrage de la lunette par rapport à la source.

Le diaphragme fixe diffère suivant la température maximum nominale de mesure qui peut être 1.900, 1.650, 1.400, 1.200, 1.000°C. La plaque signalétique de chaque lunette mentionne la force électromotrice correspondant à la température maximum nominale qui y est inscrite. Elle est voisine de 20 mV pour les trois premières, de l'ordre de 15 mV pour les deux autres.

Comme on l'a vu page 12 les lunettes, sauf mention spéciale, n'ont pas la même caractéristique force électromotrice - température, mais les caractéristiques sont homothétiques et le rapport d'homothétie par rapport à notre courbe de référence est indiqué à la livraison. On a vu page 17 comment il est possible de s'en affranchir.

Le diamètre minimum Φ de la source est défini par sa distance D à la lunette; sa valeur est, sauf pour la lunette RTL-20 :

$$\Phi = \frac{1}{15} D \quad (D \text{ supérieur à } 60 \text{ cm})$$

Les différents types sont les suivants :

LUNETTE RTL-10.

C'est la lunette de type standard (fig. 41). Son temps de réponse est de 8 secondes.

Lorsque la lunette est munie d'un diaphragme réglable, le type est dit RTL-11.

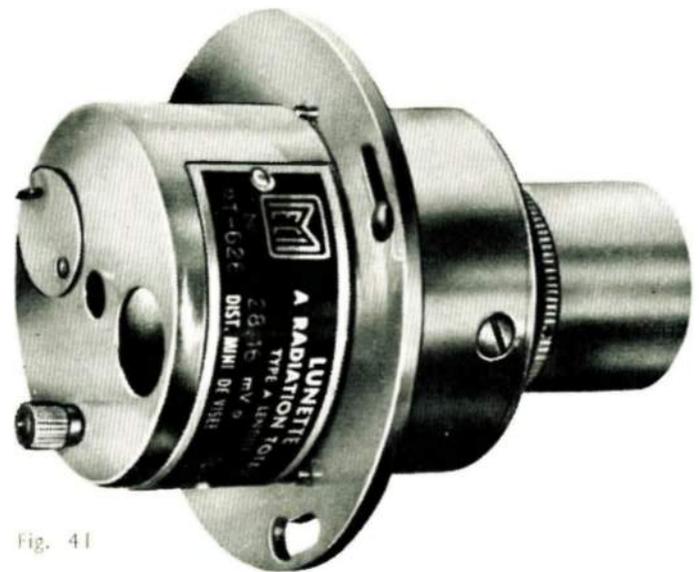


Fig. 41

LUNETTE RTL-20. — Destinée à la mesure des températures plus basses (valeur nominales 1.200°C ou 1.000°C) cette lunette a une distance focale moins grande et par suite un champ plus grand,

$$\Phi = \frac{1}{8} D$$

et une plus grande sensibilité, ce qui permet de l'utiliser avec les mêmes types d'appareils que la lunette précédente. Son temps de réponse est de 8 secondes.

Munie d'un diaphragme réglable, elle prend la dénomination RTL-21.

LUNETTE RTL-30. — Lunette analogue à la RTL-10 mais blindée avec fenêtre de protection en quartz. Elle est d'un emploi peu fréquent (visée de voûte dans les fours Martin).

LUNETTE RTL-50. — Lunette à faible inertie. Le temps de réponse est de 2 secondes. Convient principalement à la mesure des pièces en mouvement. S'emploie avec un pyromètre électronique.



LUNETTE RTL-60. — Lunette à inertie augmentée. Est utilisée en particulier dans les fours rotatifs et en général quand on veut enregistrer par visée directe une certaine valeur moyenne d'une température fluctuante.

LUNETTE RTL-70. — Lunette munie d'un dispositif de fixation spécial pour être employée à des mesures de températures d'empilage des cowpers.

Les désignations précédentes sont suivies d'une lettre minuscule représentant la température maximum nominale.

a : 1.900° — b : 1.650° — c : 1.400° — d : 1.200° — e : 1.000°

Lunettes à double miroir **RTM**

La lunette est représentée en coupe schématique fig. 42, en photographie fig. 44.

Le miroir primaire M_1 concentre l'énergie rayonnée sur l'orifice O ; les rayons passant par cet orifice vont se réfléchir sur le miroir secondaire M_2 qui les renvoie sur la pastille S où sont rassemblées les soudures chaudes, au nombre de 8, des thermocouples. Les soudures froides reposent sur un anneau avec un bon contact thermique. La thermopile ainsi constituée, qui est représentée en grandeur réelle fig. 43, est contenue, ainsi que le miroir secondaire, dans une enceinte en cuivre. Les dispositions exposées ont pour objet de minimiser les variations transitoires d'indications qui pourraient résulter, dans certains emplois, de variations relativement rapides de la température du corps de lunette, ainsi qu'il peut arriver quand on déplace une lunette en différents points d'un four.

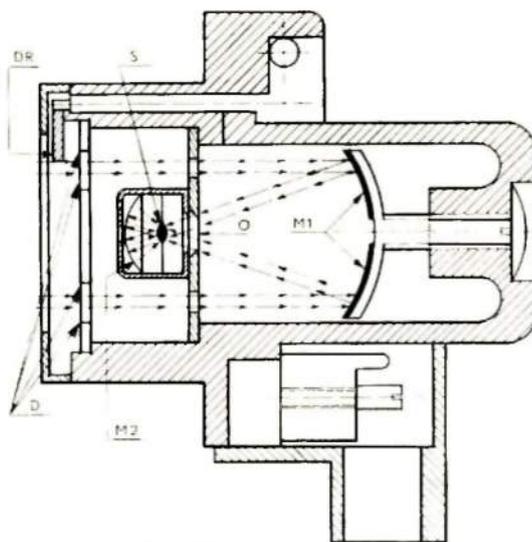


Fig. 42

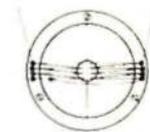


Fig. 43

La mise au point du miroir primaire est effectuée une fois pour toutes en nos ateliers et ne doit pas être retouchée.

Un œilleton de visée en arrière du miroir primaire permet de s'assurer du centrage de la lunette par rapport à la source.

Un diaphragme fixe annulaire D limite le rayonnement reçu. Un diaphragme réglable DR , constitué par un volet situé à l'avant de la fenêtre en dehors de l'enceinte étanche, complète le précédent pour donner des caractéristiques à plusieurs lunettes utilisées avec le même appareil. Bien que son réglage soit normalement effectué en nos ateliers on pourra éventuellement le modifier sur place pour tenir compte, le cas échéant, de coefficients d'émissivité différents; la force électromotrice inscrite sur la plaque signalétique sera alors plus valable.

Le diaphragme fixe diffère suivant la température maxima nominale de mesure qui peut être 1.900°, 1.650°, 1.400°; sa surface est déterminée par la partie métallisée de la fenêtre.

La plaque signalétique de chaque lunette mentionne la force électromotrice correspondant à la température nominale qui y est inscrite; elle est normalement ajustée à 18 mV.

Le diamètre minimum Φ de la source est défini par sa distance D à la lunette $\Phi = \frac{1}{20} D$.

Les différents types sont les suivants :

RTM 11. — Lunette à double miroir normale. Temps de réponse : 8 secondes. (Fig. 44).



Fig. 44

RTM 61. — Lunette à double miroir à grande inertie. Temps de réponse : 20 secondes.

Ces désignations sont suivies d'une lettre minuscule représentant la température maximum nominale, a : 1900°C. — b : 1.650°C — c : 1.400°C.

Utilisation et accessoires d'emploi

Le choix d'une lunette et de ses accessoires dépend de ses conditions d'emploi.

On peut désirer mesurer la température de la surface d'une pièce ou de toute autre surface par une visée directe.

Il est bien entendu nécessaire que le pouvoir émissif de la surface soit suffisant. Ceci est souvent le cas en pratique : température de tôles ou de lingots légèrement oxydés, température de surface de bains de sel. Les pouvoirs émissifs correspondants sont alors compris entre 0,7 et 1. Pour des pouvoirs émissifs plus faibles le problème peut parfois être résolu par l'emploi de montages permettant de se rapprocher des conditions du corps noir (réflecteurs...).

Cependant, quand la surface à viser se trouve à l'intérieur d'une enceinte chauffée, le rayonnement des parois de l'enceinte, en se réfléchissant sur elle, risque de fausser la mesure dans une proportion d'autant plus grande que le pouvoir émissif de cette surface sera faible et que la différence de température entre surface et parois sera grande. Deux exemples de mesures possibles dans ces conditions sont celui de la température de tôles légèrement oxydées situées dans un four et celui de la température sur des empilages de récupérateurs et de cowpers.

Dans le cas de ces visées directes il y aura lieu de porter son attention sur l'absorption possible par le milieu traversé d'une partie du rayonnement destiné à la lunette, par suite de la présence de fumées, poussières, vapeur d'eau, etc. On aura recours dans ce cas à un léger balayage d'air dans un tube de visée ouvert allant aussi près que possible de la surface visée.

Au lieu de la température d'une surface déterminée on peut se contenter dans beaucoup de cas, dans une enceinte à température relativement uniforme, au moins dans une de ses parties, de viser le fond d'un tube borgne pénétrant dans cette enceinte. Ce montage rappelle celui d'une canne pyrométrique et l'on se trouve placé dans des conditions de mesure tout-à-fait analogues, mais où l'emploi d'un thermocouple ne serait pas recommandable.

On se trouve alors à peu près dans les conditions du corps noir et, comme nos lunettes sont étalonnées dans ces conditions, il est possible de choisir la température maximum nominale de la lunette. Le choix est un peu plus difficile dans le cas de visée directe sur des corps de pouvoir émissif plus faible où il pourra parfois y avoir lieu de prendre une lunette de température maximum inférieure à celle que laisserait supposer la température mesurée.

En ce qui concerne le modèle de lunette nous avons donné page 67 une comparaison entre la lunette à lentille et la lunette à miroir. En particulier le corps de la première ne doit pas supporter une température supérieure à 60°, ce qui entraîne dans un certain nombre de cas la nécessité d'un refroidissement par eau ou, dans des cas où des condensations pourraient être à craindre, de manches de soufflage d'air. Cet emploi sera beaucoup plus exceptionnel pour la lunette à miroir dont le corps peut être porté sans inconvénient à 160°.

Les considérations qui précèdent permettent de déterminer les éléments constituants possibles d'un assemblage.

Des renseignements concernant le montage de ces assemblages sont donnés dans notre notice NEP-8-2.

Les tubes de visée borgnes généralement utilisés sont en silice fondue, en porcelaine mullite et, pour des températures dépassant 1.500°, en alumine frittée. Leur diamètre intérieur dépend de leur longueur pour ne pas limiter le champ, suivant les formules données lors de la description des lunettes. Les longueurs les plus courantes sont de l'ordre de 700 mm et de 900 mm. Il suffit en général qu'ils pénétrant à l'intérieur de l'enceinte d'une centaine de millimètres.

Un exemple de montage d'une lunette avec ses accessoires et un tube de visée est donné fig. 45.

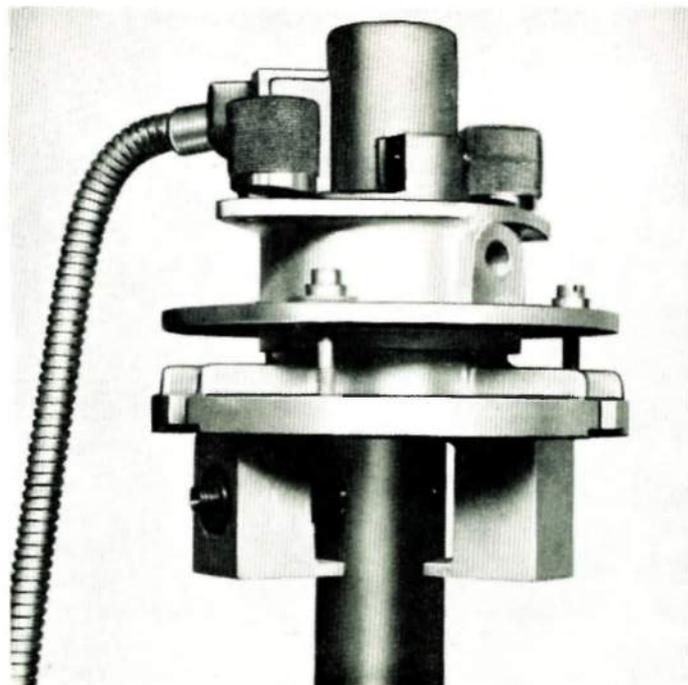


Fig. 45

RÉSISTANCES THERMOMÉTRIQUES ACCESSOIRES D'EMPLOI

RÉSISTANCES THERMOMÉTRIQUES UTILISÉES. — Les métaux généralement employés pour la confection de résistances thermométriques sont le cuivre, le nickel et le platine.

Le cuivre a l'avantage d'une caractéristique résistance-température linéaire, ce qui est particulièrement intéressant pour des mesures différentielles. Il a celui de pouvoir être employé aux températures les plus basses. En raison des risques d'oxydation nous ne construisons pas de résistances thermométriques en cuivre pour températures supérieures à 150°.

L'emploi des résistances en cuivre est limité par la faible résistivité de ce métal. Celles que nous construisons ont une résistance de 10 ohms à 25° et nous conseillons, malgré le schéma utilisé pour la compensation des lignes, de ne pas dépasser l'équivalent d'une ligne de 50 m en fil de cuivre 16/10.

Le nickel n'est pas à conseiller pour la mesure de températures inférieures à 0° ou supérieures à 150°, température que les résistances que nous construisons ne doivent pas dépasser. Entre ces deux températures il est le plus fréquemment utilisé car sa résistivité élevée se prête à la construction robuste d'éléments de 100 ohms (à 20° dans nos résistances).

Pour les résistances thermométriques en cuivre et en nickel **nos tolérances par rapport aux tables sont de $\pm 0,3^\circ$.**

Le platine permet des utilisations dans un beaucoup plus grand domaine de température dont les limites sont fixées par la nature du support employé pour la confection de la résistance thermométrique. Les résistances que nous pouvons fournir peuvent être utilisées jusqu'à environ 500°.

Nos tolérances par rapport aux tables sont $\pm 0,4^\circ$ pour des températures de 0 à 100°, $\pm 1^\circ$ aux environs de 400°.

CONSTRUCTION ET ACCESSOIRES D'EMPLOI. — Les résistances **en cuivre de 10 ohms et en nickel de 100 ohms** sont constituées par un bobinage à une couche adhérent directement à la paroi intérieure d'une enveloppe cylindrique en cuivre de mince épaisseur.

Un câble cylindrique à trois conducteurs permet de raccorder cette résistance thermométrique au connecteur que l'on utilisera pour sa jonction à la ligne. Ce câble de sortie a suivant la température une enveloppe extérieure en plastique ou en plomb.

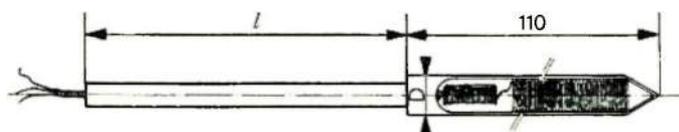


Fig. 46

L'élément ainsi défini est représenté fig. 46.

Cet élément se montera, au lieu d'un thermocouple, dans un des différents modèles de cannes représentées page 64. Il y a lieu seulement de remplacer la lettre P par la lettre D dans les désignations.

De même, pour la nature des gaines de protection, on se reportera au tableau donné pages 62 et 63

Il est bon dans ces montages de réaliser entre l'enveloppe cylindrique et la gaine un bon contact thermique, par exemple au moyen d'une graisse ou d'un liquide appropriés suivant la température.

Il existe un modèle spécial, à faible inertie, ce qui est intéressant en cas de régulation de la température d'un liquide, dans lequel l'enveloppe contenant la résistance thermométrique est mise directement en contact avec le fluide dont on mesure la température. L'élément thermométrique (fig. 47) est identique à celui précédemment décrit mais l'enveloppe est en acier inoxydable 18;8 et est munie d'une collerette qui permet de monter l'ensemble entre deux rondelles de Teflon formant joint d'étanchéité à l'extrémité d'un ensemble modèle CD-6-B représenté fig. 48.

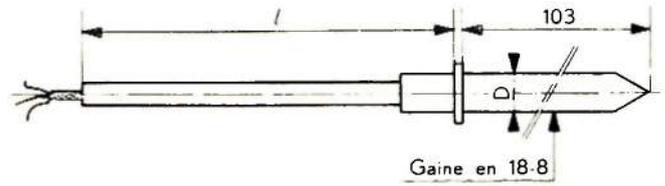


Fig. 47

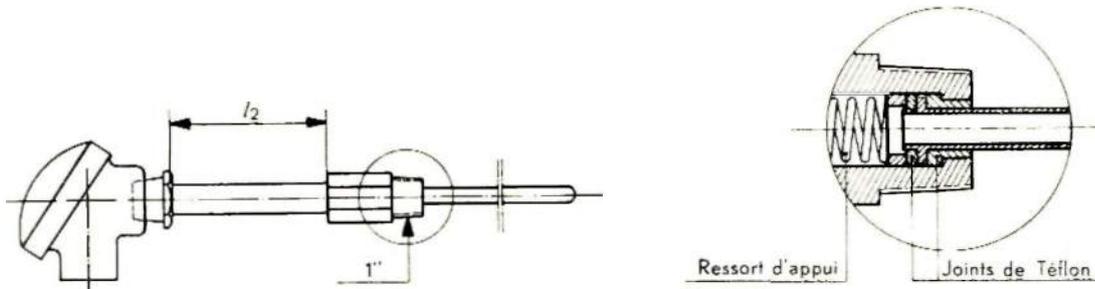


Fig. 48

Les résistances en platine sont incluses dans un ensemble représenté fig. 49.

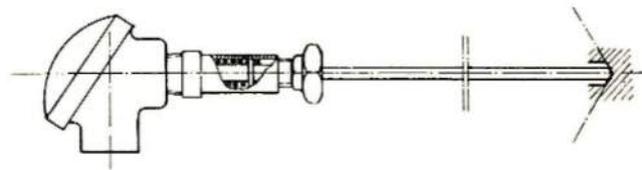


Fig. 49

Pour assurer le contact thermique de la résistance thermométrique avec le fond de la gaine protectrice un fort ressort repousse le tube à l'extrémité duquel cette résistance est fixée. Le montage de cet élément partiel sur l'ensemble de la canne s'effectue par raccord Union. A titre d'exemple le modèle CD 6 est représenté fig. 50.

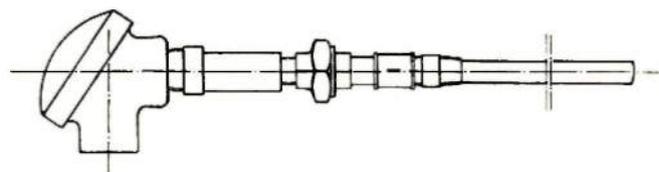


Fig. 50

RENSEIGNEMENTS

POUR LE CHOIX DES CARACTÉRISTIQUES DES ENREGISTREURS

CADENCES DE COMMUTATION DES ENREGISTREURS A PLUSIEURS DIRECTIONS

Cadence de commutation		DURÉE DU CYCLE EN FONCTION DU NOMBRE DE DIRECTIONS								
Nom.	Réelle									
Nombre de directions		2	3	4	5	6	8	10	12	16
(1) 2*	2	4 ^s	6 ^s	8 ^s	10 ^s	12 ^s	16 ^s	20 ^s	24 ^s	32 ^s
4*	4	8 ^s	12 ^s	16 ^s	20 ^s	24 ^s	32 ^s	40 ^s	48 ^s	1 ^m 04
7	7,2	14 ^s 4	22 ^s	29 ^s	36 ^s	43 ^s	58 ^s	1 ^m 12	1 ^m 36	2 ^m 05
10	9,6	19 ^s	29 ^s	38 ^s	48 ^s	58 ^s	1 ^m 17	1 ^m 36	1 ^m 55	2 ^m 33
15	14,4	29 ^s	43 ^s	58 ^s	1 ^m 12	1 ^m 36	2 ^m 05	2 ^m 34	3 ^m 03	4 ^m 01
24	24	48 ^s	1 ^m 12	1 ^m 36	2 ^m	2 ^m 24	3 ^m 12	4 ^m	4 ^m 48	6 ^m 24
45	48	1 ^m 36	2 ^m 24	3 ^m 12	4 ^m	4 ^m 48	6 ^m 24	8 ^m	9 ^m 36	12 ^m 48
60	57,6	1 ^m 55	2 ^m 35	3 ^m 50	4 ^m 48	5 ^m 46	7 ^m 40	9 ^m 36	11 ^m 30	15 ^m 20



Note 1 : La ligne (1) n'est applicable qu'aux appareils qui parcourent l'échelle en moins de deux secondes (voir page 31).

Note 2 : L'astérisque indique que l'on peut aisément augmenter la cadence de commutation sur ces appareils dans le rapport de 2,4.

Note 3 : Pour les appareils à fréquence augmentée sur certaines directions, le nombre de directions équivalent (Exemple : 1-2-1-3-1-4 équivalent à 6 directions) doit être obligatoirement égal à l'un de ceux du tableau. Avant de choisir définitivement une cadence de commutation considérer également les vitesses de déroulement du diagramme et se reporter aux exemples de diagrammes (voir encart ci-contre).



A - Courbe Continue

1 Direction

B - Courbe Continue

2 Directions

C - Points et Traits

T = 1 m
V = 50 mm/h

D - Points Unicolores Numérotés

h = 2,1 mm
T = 1 m 30
V = 100 mm/h

E - Points Unicolores Numérotés

h = 1,6 mm
T = 12 s
V = 600 mm/h

F - Points Unicolores Numérotés

h = 1,6 mm
T = 30 s
V = 600 mm/h

G - Points Multicolores non Numérotés

T = 12 s
V = 200 mm/h

H - Points Multicolores Numérotés

h = 1,6 mm
T = 12 s
V = 600 mm/h

I - Points Unicolores ou Multicolores. Numérotage tous les "n" points sur chaque courbe.

Si N est le nombre de directions "n" doit être tel que :

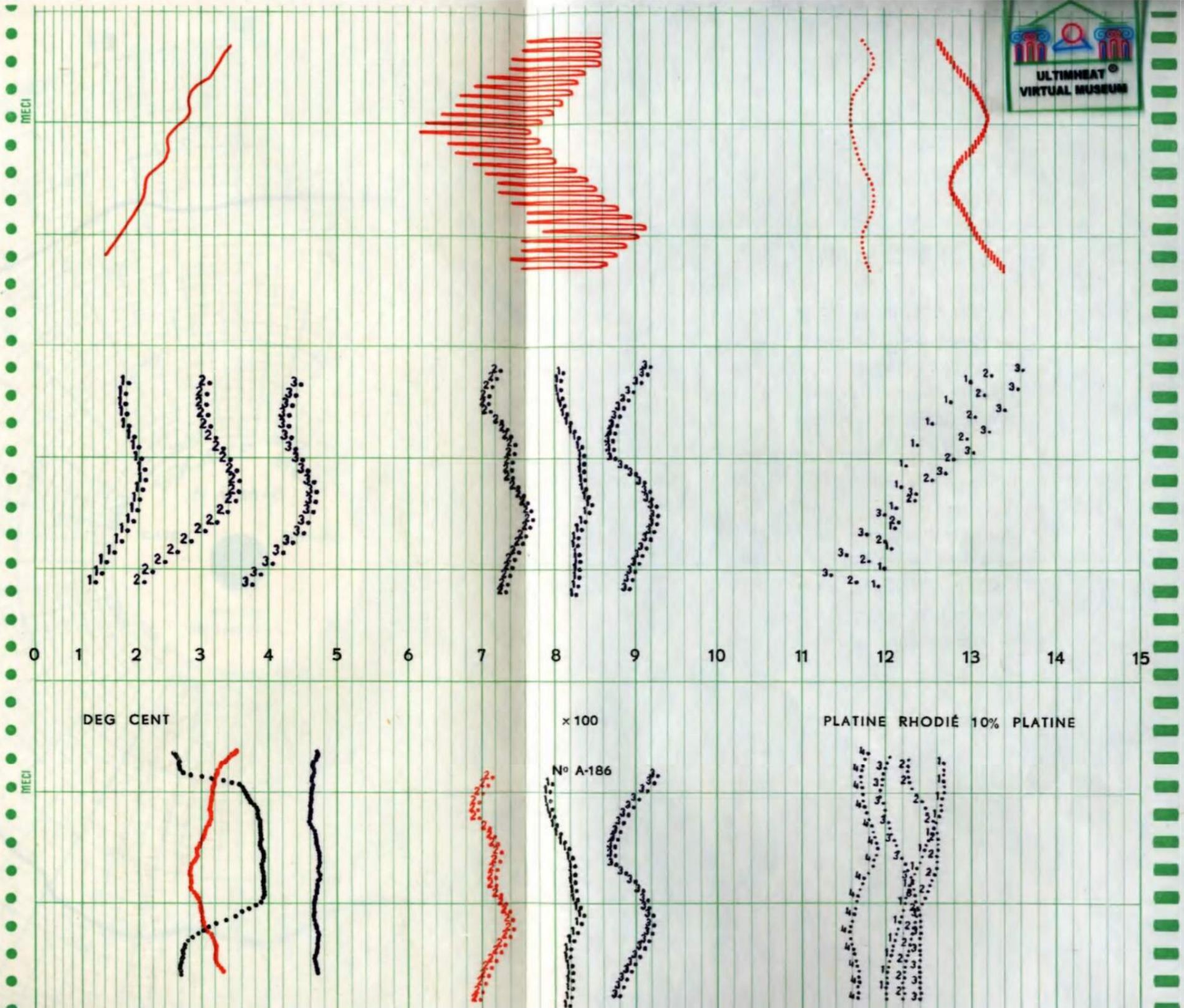
$$N \times n = \begin{cases} 10 \\ 12 \text{ ou sous-multiple} \\ 16 \end{cases}$$

$$N = 4 \quad n = 3$$

h = 1,6 mm

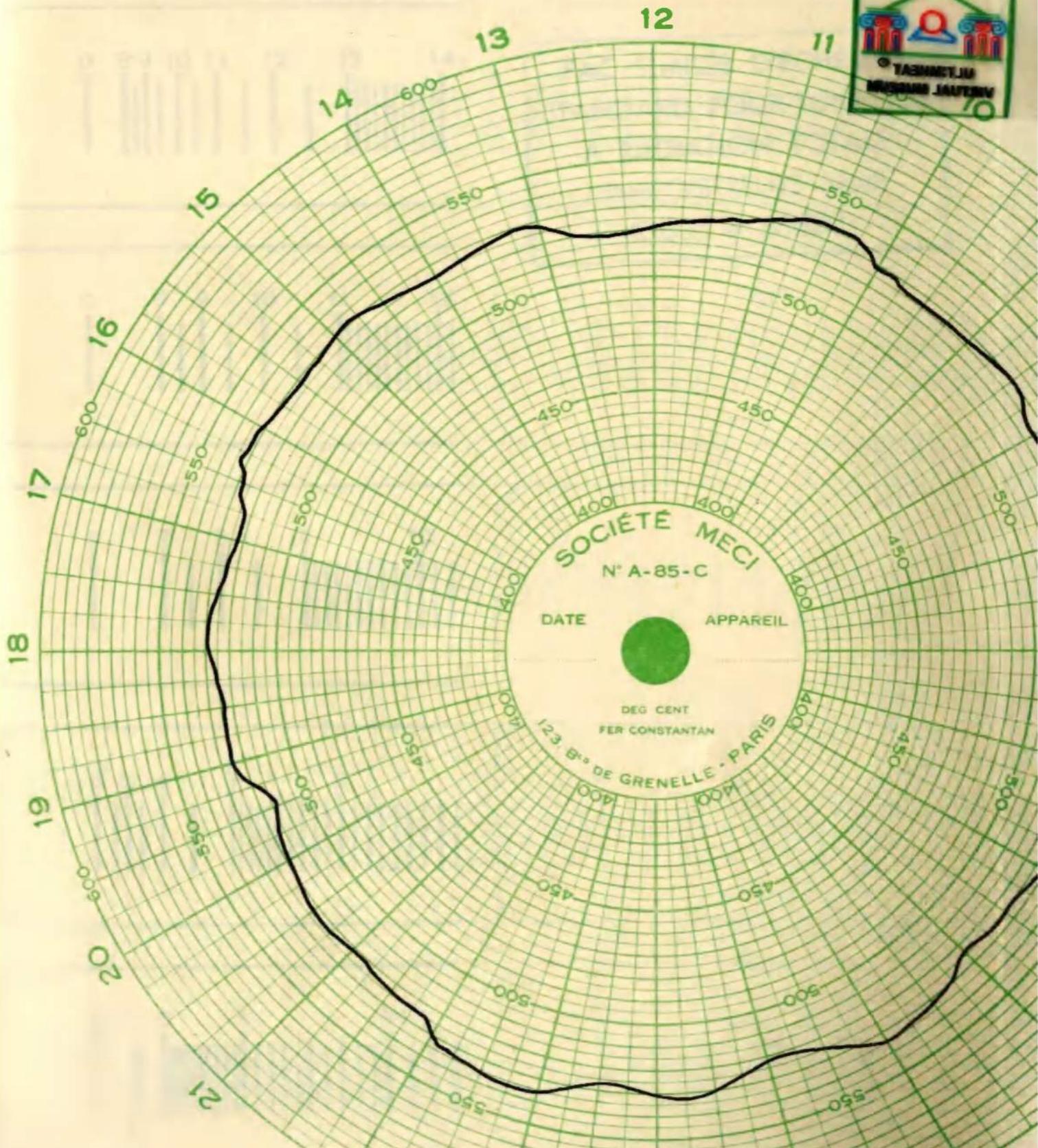
T = 16 s

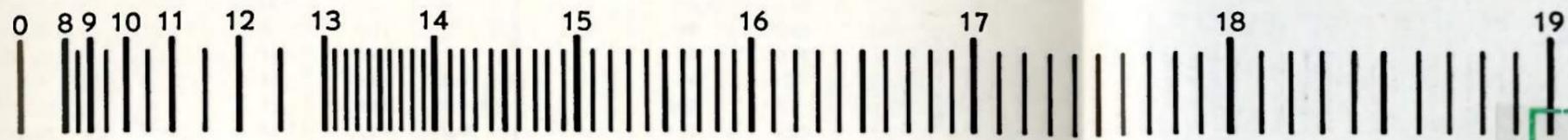
V = 300 mm/h



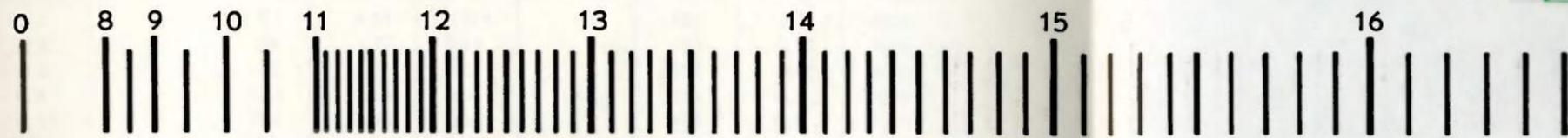
VITESSES STANDARD DE DÉROULEMENT DE PAPIER

pour les diagrammes enregistreurs série 40 000 et 60 000

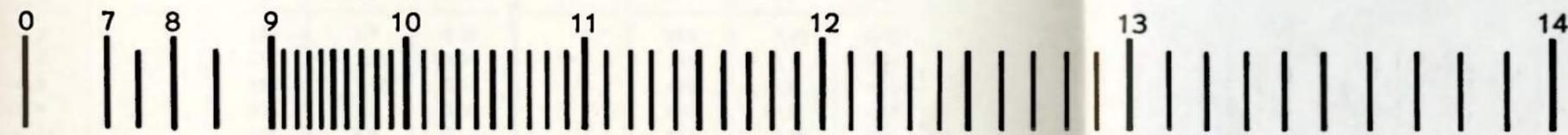




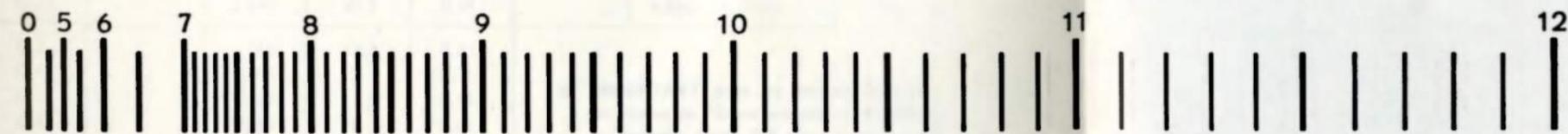
Echelle A - 282 : 0 - 1900°



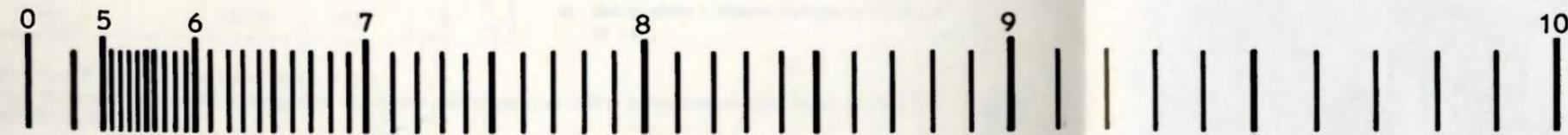
Echelle A - 281 : 0 - 1650°



Echelle A - 283 : 0 - 1400°



Echelle A - 363 : 0 - 1200°



Echelle A - 319 : 0 - 1000°

VITESSES STANDARD DE DÉROULEMENT DE PAPIER

pour les diagrammes enregistreurs série 40 000 et 60 000

Numéros référence	Série	mm			Série	mm		
		heure	minute	seconde		heure	minute	seconde
C 2	10	12,7	0,21		11	25,5	0,42	
C 4		19	0,32			38	0,63	0,01
C 5		25,5	0,42			51	0,85	0,014
C 9		38	0,63	0,01		76	1,27	0,02
C 11		51	0,85	0,014		102	1,7	0,03
C 15		76	1,27	0,02		153	2,55	0,04
C 18		102	1,7	0,03		203	3,40	0,06
C 20		127	2,1	0,035		254	4,23	0,07
C 22		153	2,55	0,04		305	5,1	0,08
C 24		229	3,8	0,06		457	7,62	0,12
C 25		305	5,1	0,08		610	10,2	0,17
C 2		15	51	0,85		0,014	16	102
C 4	76		1,27	0,02	153	2,55		0,04
C 5	102		1,7	0,03	203	3,40		0,06
C 9	153		2,55	0,04	305	5,1		0,08
C 11	203		3,40	0,06	406	6,8		0,11
C 15	305		5,1	0,08	610	10,2		0,17
C 18	406		6,8	0,11	813	13,55		0,22
C 20	508		8,5	0,14	1.016	17		0,28
C 22	610		10,2	0,17	1.220	20,3		0,34
C 24	914		15,25	0,25	1.830	30,5		0,51
C 25	1.220		20,3	0,34	2.440	40,7		0,68
C 2	17		102	1,7	0,03	18		203
C 4		153	2,55	0,04	305		5,1	0,08
C 5		203	3,40	0,06	406		6,8	0,11
C 9		305	5,1	0,08	610		10,2	0,17
C 11		406	6,8	0,11	813		13,55	0,22
C 15		610	10,2	0,17	1.220		20,3	0,34
C 18		813	13,55	0,22	1.625		27,1	0,44
C 20		1.016	17	0,28	2.030		33,8	0,56
C 22		1.220	20,3	0,34	2.440		40,7	0,68
C 24		1.830	30,5	0,51	3.660		61	1,02
C 25		2.440	40,7	0,68	4.880		81	1,35
C 2		21	760	12,7	0,21			
C 4	1.145		19	0,31				
C 5	1.525		25,5	0,42				
C 9	2.290		38	0,63				
C 11	3.050		51	0,85				
C 15	4.570		76	1,27				
C 18	6.100		101,6	1,7				
C 20	7.620		127	2,11				
C 22	9.150		152,5	2,54				
C 24	13.700		229	3,81				
C 25	18.300		305	5,1				

- **IMPORTANT** pour les vitesses Série 21 : La vitesse de l'arbre entraînant les divers mécanismes est de 750 t/m, ce qui exclut l'entraînement du système normal de tarage automatique.
- Série 17 et 18 : La vitesse de cet arbre est de 50 t/m. Le tarage automatique est provoqué toutes les 24 minutes.
- Autres séries : Vitesse normale de l'arbre : 25 t/m.



LISTE DES ÉCHELLES STANDARD
pour papiers diagrammes d'Enregistreurs série 40.000 et 60.000

DIVISIONS UNIFORMES		RESISTANCES THERMOMÉTRIQUES
0/ 60 0/ 70 0/100 0/150 0/250	Chromel-Alumel	Nickel
	0/ 600°C 0/ 700°C 0/ 800°C 0/1000°C 0/1200°C 200/1200°C 200/1400°C 300/ 600°C 300/ 900°C 400/ 800°C 400/1000°C 500/1100°C 600/1000°C	0/ 40°C 0/ 60°C 0/ 80°C 0/100°C 0/120°C 0/150°C
COUPLES THERMOÉLECTRIQUES		
Cuivre-Constantan		Cuivre
-200/+ 100°C -100/+ 100°C * - 50/+ 100°C - 20/+ 180°C * 0/ 100°C 0/ 160°C 0/ 200°C 0/ 250°C 0/ 300°C 0/ 350°C	Chromel-Constantan	Les échelles étant linéaires, voir échelles à divisions uniformes.
	0/1000°C 0/1200°C	
Fer-Constantan	Platine rhodié 10 % Platine	Platine (1)
* 0/ 120°C 0/ 160°C 0/ 200°C 0/ 250°C 0/ 300°C 0/ 350°C 0/ 400°C 0/ 500°C 0/ 600°C 0/ 700°C 0/ 800°C 0/1000°C 100/ 350°C 100/ 600°C 150/ 450°C 200/ 500°C 200/ 800°C 350/ 550°C 300/ 700°C 300/1000°C 400/ 600°C	0/1500°C 700/1500°C 800/1600°C * 900/1400°C * 1000/1300°C * 1000/1500°C 1000/1600°C 1100/1700°C	0/ 20°C 0/ 40°C 0/ 60°C 0/100°C 0/150°C 0/200°C 0/250°C 0/300°C 0/400°C 0/500°C
	LUNETTE A RADIATION TOTALE	
	0/1000°C 0/1200°C 0/1400°C 0/1650°C 0/1900°C	(1) Remarque importante : L'origine de l'échelle peut être choisie à une valeur différente de 0°C en utilisant les mêmes graduations standard pour le diagramme. Par exemple on peut utiliser le diagramme 0/40°C avec une échelle 20/60°C.

Les échelles précédées d'une astérisque sont réservées aux enregistreurs série 60.000



LISTE DES ÉCHELLES STANDARD

pour papiers diagrammes d'Enregistreurs Électroniques à diagramme circulaire série 50.000

DIVISIONS UNIFORMES		RÉSISTANCES THERMOMÉTRIQUES
0/ 40 0/ 60 0/100 0/150	Chromel-alumel	Nickel
COUPLES THERMOÉLECTRIQUES	0/ 600°C 0/ 800°C 0/1000°C 0/1200°C 200/ 700°C 200/ 800°C 200/1000°C 200/1200°C 300/ 600°C 300/ 700°C 400/ 700°C 400/ 800°C 400/1000°C 400/1200°C 500/ 800°C 500/ 900°C 500/1100°C 600/ 900°C 600/1000°C 600/1100°C 700/1200°C	0/ 40°C 0/ 60°C 0/100°C 0/150°C 20/ 60°C 30/ 90°C 40/ 80°C 50/150°C 60/100°C 60/120°C 80/120°C 100/150°C
Cuivre-Constantan		
- 100/ 0°C - 50/+ 50°C 0/ 160°C 0/ 200°C 0/ 250°C 0/ 300°C 0/ 350°C 50/ 150°C 100/ 200°C 100/ 350°C 150/ 250°C 200/ 300°C		Cuivre
		Les échelles étant linéaires, voir échelles à divisions uniformes.
Fer-Constantan	Platine rhodié 10 % platine	Platine (1)
0/ 200°C 0/ 250°C 0/ 300°C 0/ 400°C 0/ 500°C 0/ 600°C 0/ 800°C 0/1000°C 100/ 300°C 100/ 350°C 100/ 500°C 200/ 400°C 200/ 500°C 200/ 600°C 200/ 800°C 300/ 550°C 300/ 700°C 300/1000°C 400/ 600°C 400/ 700°C 400/ 800°C 400/1000°C 500/ 900°C 500/1000°C	700/1500°C 800/1400°C 1000/1300°C 1000/1500°C	0/ 20°C 0/ 40°C 0/ 60°C 0/100°C 0/150°C 0/200°C 0/300°C
	LUNETTE A RADIATION TOTALE	
400/ 800°C 400/1000°C 500/ 900°C 500/1000°C	0/1200°C 0/1400°C 0/1650°C 0/1900°C 1000/1300°C	

(1) Remarque importante :

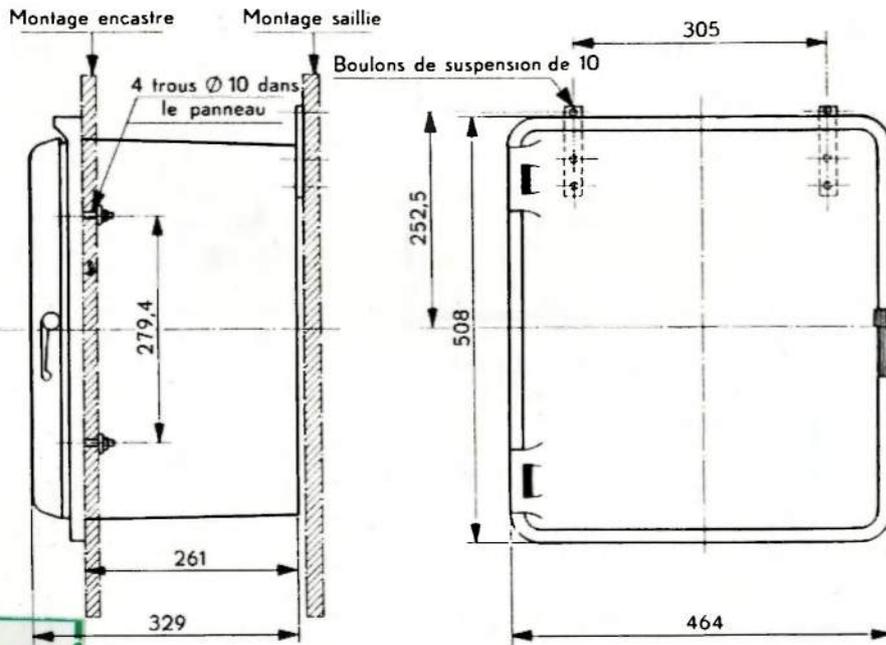
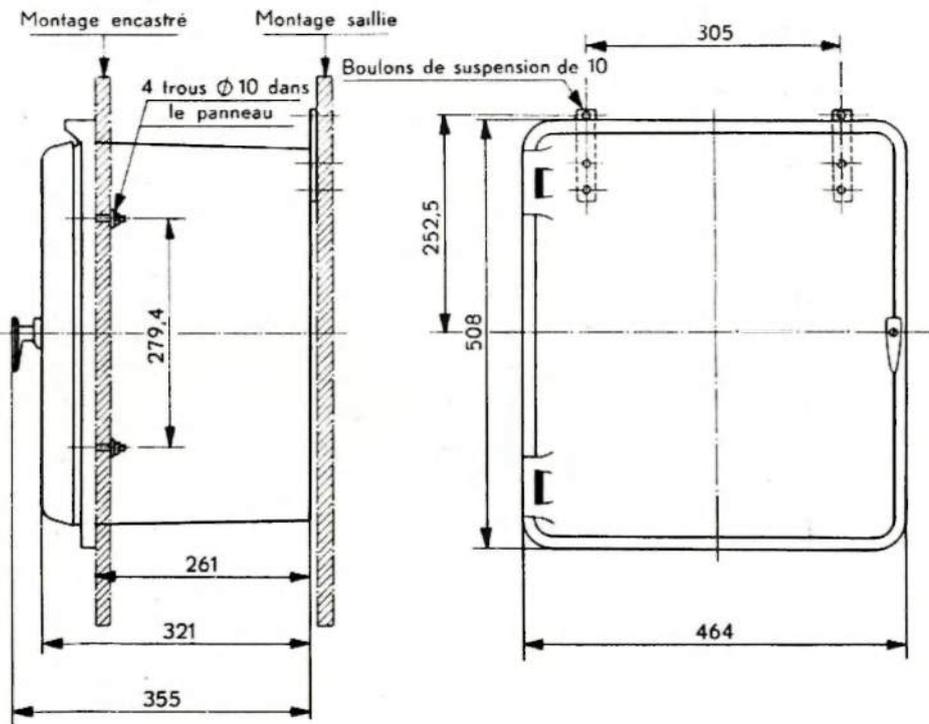
Même remarque que dans le tableau précédent.

Dans ce type d'appareil la longueur plus faible de l'échelle conduit en général à choisir une origine différente de 0°C, par exemple : 300-500°C en utilisant le diagramme standard 0/200°C.



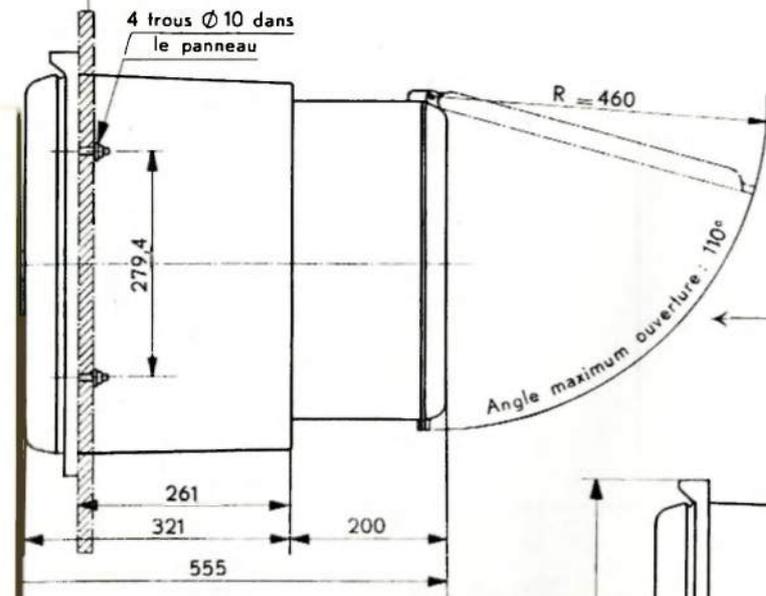
PLANS D'ENCOMBEMENT

BOITIER B-10
pour appareils séries
40.000
et
60.000



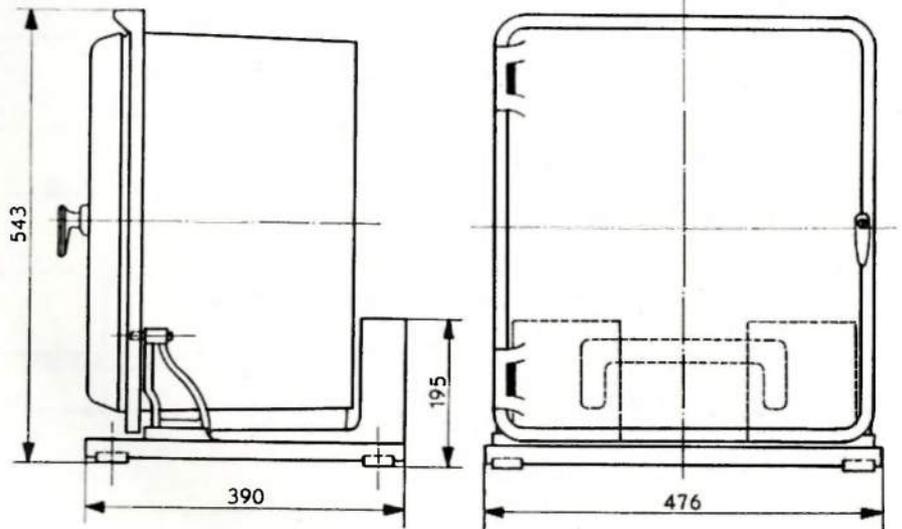
BOITIER-B-10-A
pour appareils séries
RIA REG
et
50.000

Montage encastré

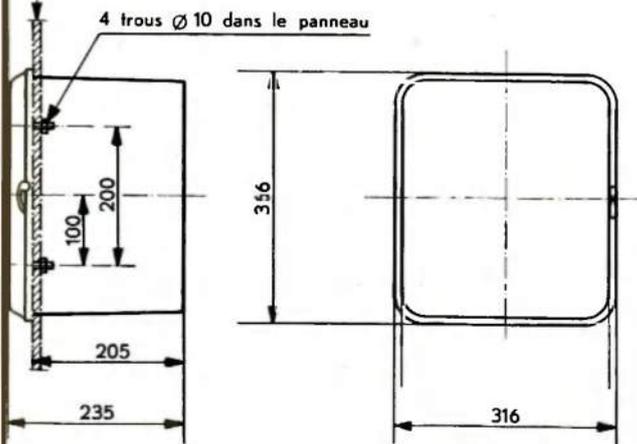


Exemple de montage de Boîtier auxiliaire dit boîtier arrière sur Boîtier B-10

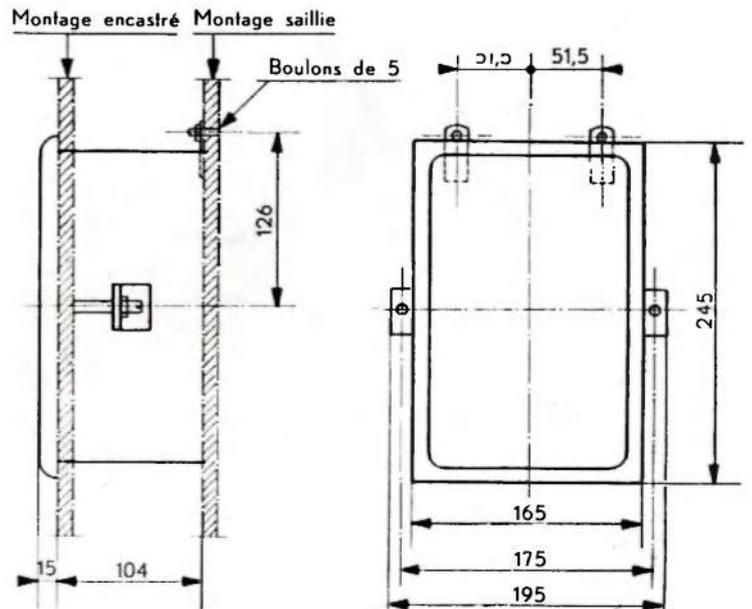
Boîtier B-10 monté sur socle pour utilisation sur une table



Montage encastré



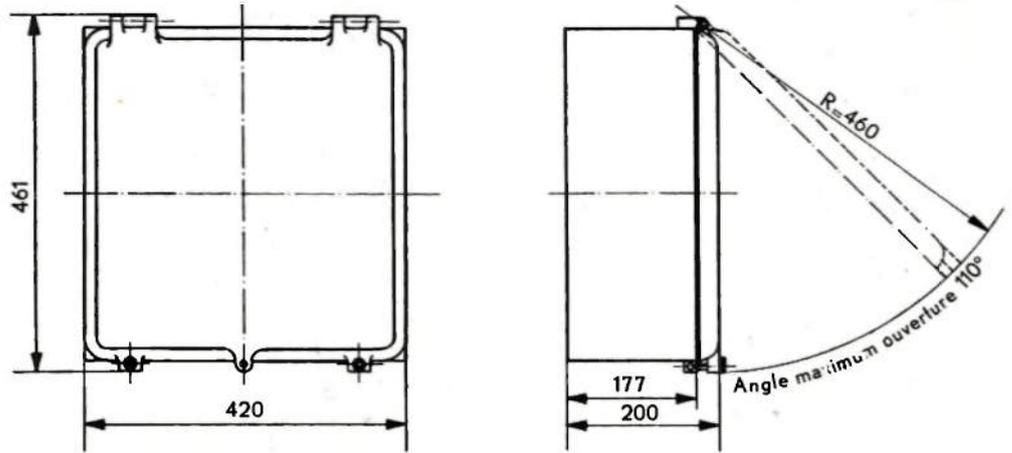
BOITIER B-40 pour appareils série PC



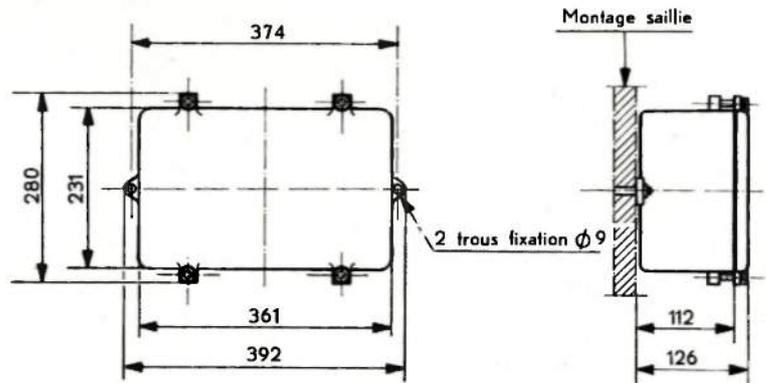
BOITIER B-70 pour appareils type Potentiomètre mural ou Boîte à clés



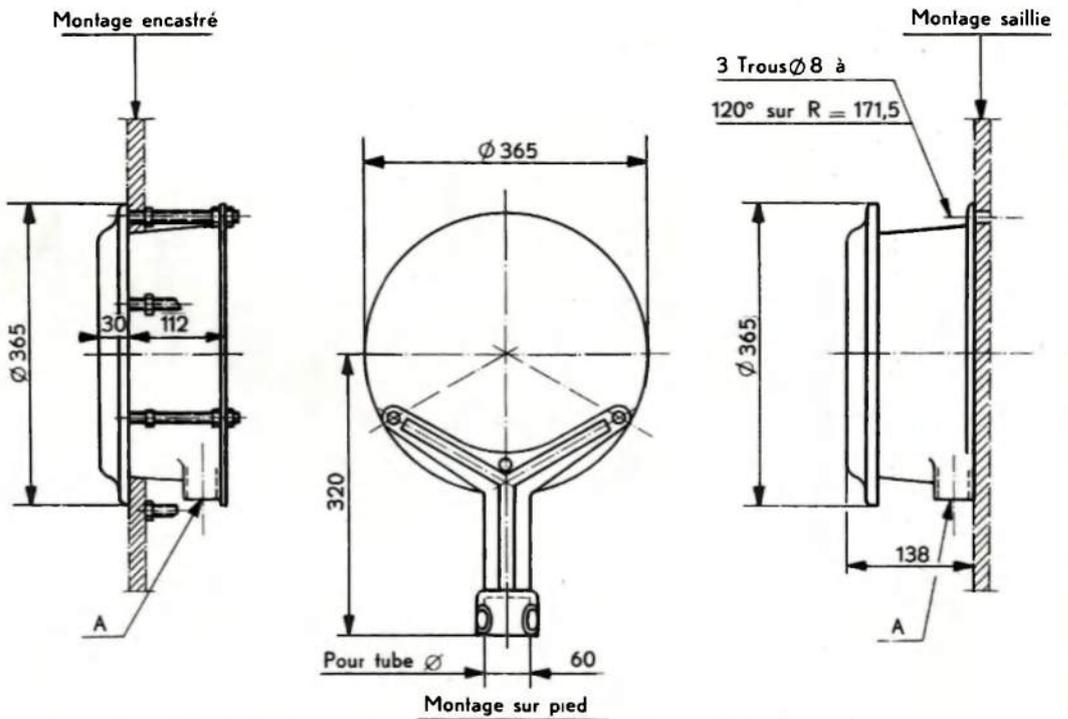
BOITIER B-110
Boîtier auxiliaire
dit
boîtier arrière



BOITIER B-140
pour
Commutateur manuel étanche



3 Montages
pour BOITIER
de
RÉPÉTITEUR
AUTO-
SYNCHRONÉ



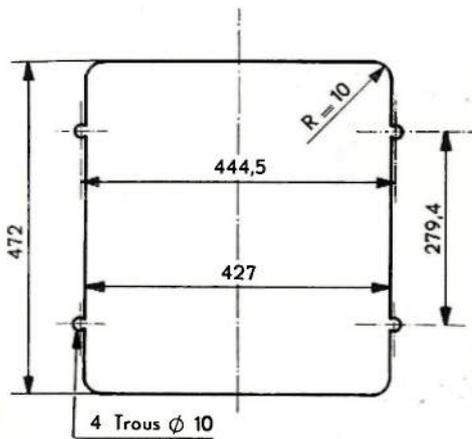
A) Filetage variable suivant installation.

ϕ nominal max. 33 pas 1,5

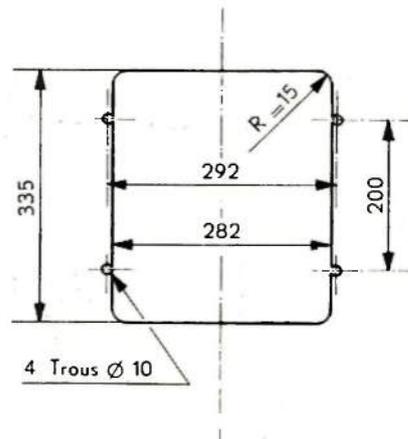


PERÇAGE DES PANNEAUX POUR MONTAGES ENCASTRÉS

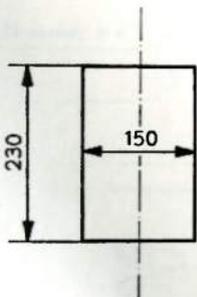
BOITIERS B-10 et B-10-A



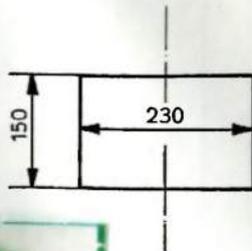
BOITIER B-40



BOITIERS B-70

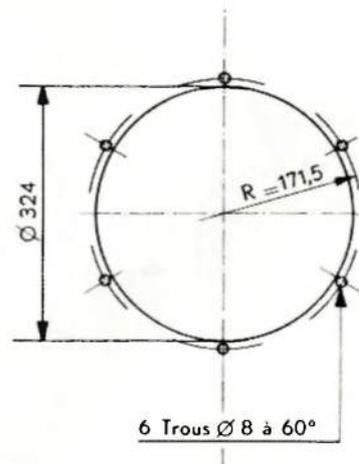


pour
Indicateur
manuel
mural



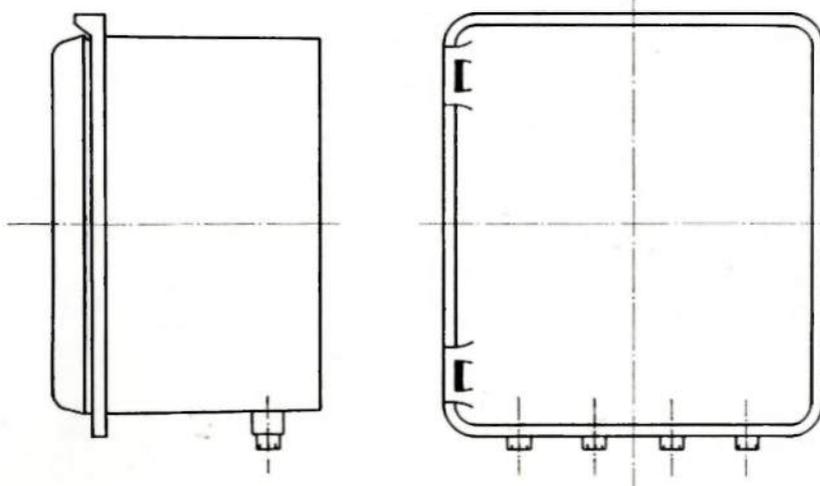
pour
Boîte
à
Clés

BOITIER RÉPÉTITEUR
AUTO-SYNCHRONE

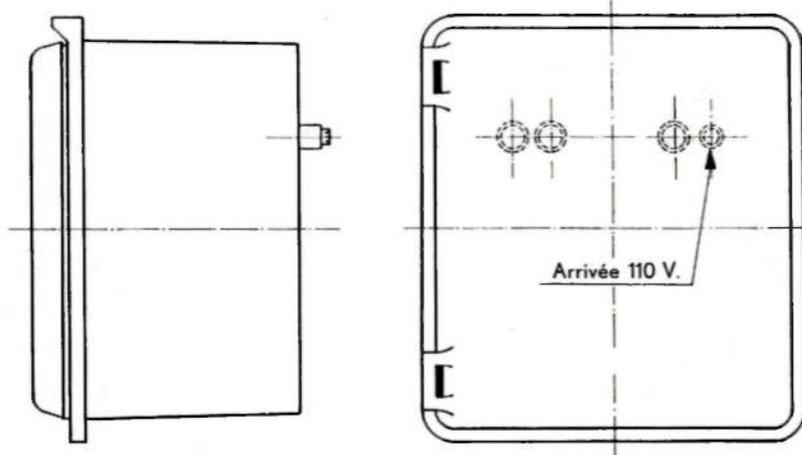


SORTIES DE CABLES

Pour appareils séries
40.000 RIA REG
en Boîtiers B-10 ou B-10 A
Montage
Encastré ou en saillie

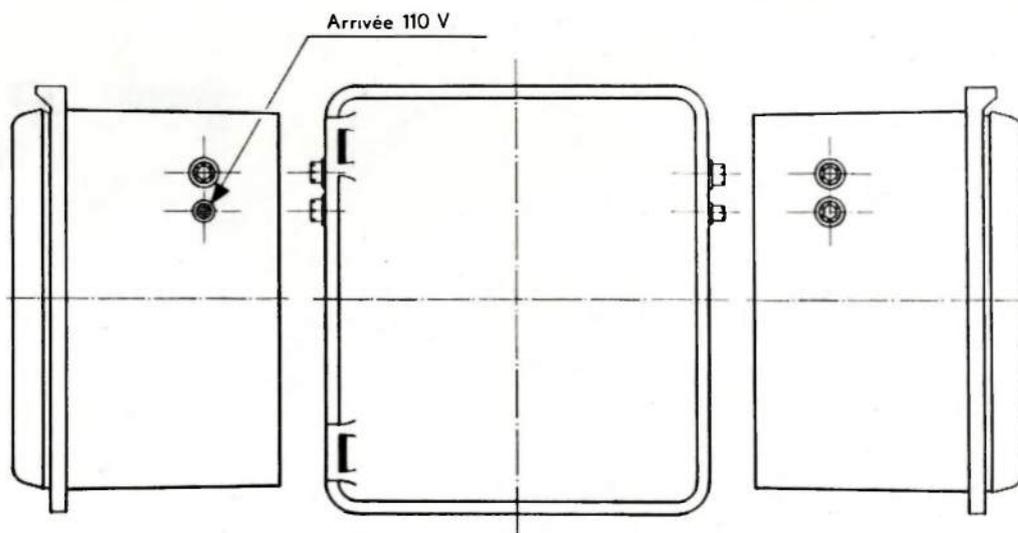


Pour appareils séries
60.000 et 50.000
en Boîtiers B-10 ou B-10-A
Montage encastré



De 2 à 4 presse-étoupe

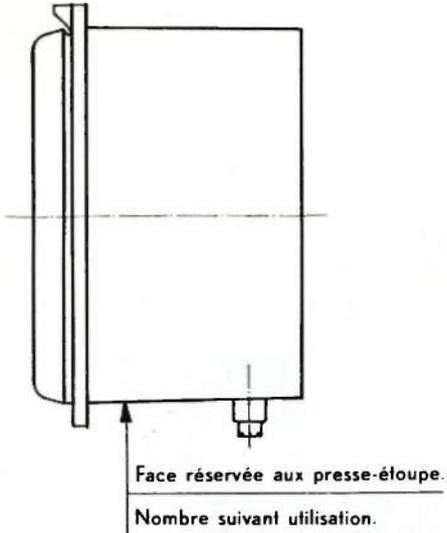
Pour appareils
séries 60.000
et 50.000
en Boîtiers
B-10 ou B-10-A
Montage
en saillie



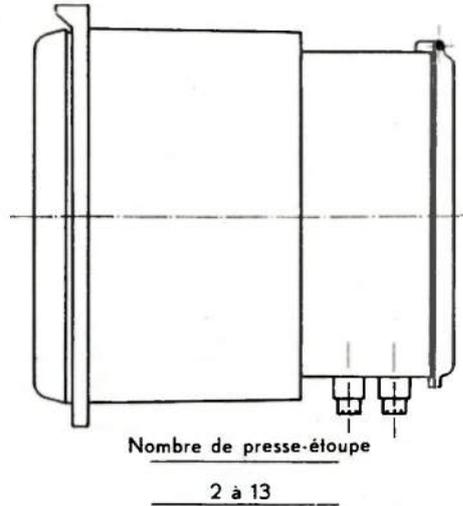
De 2 à 4 presse-étoupe

SORTIES DE CABLES

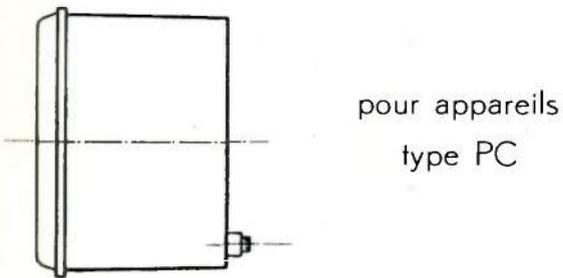
Sur Boîtier B-10
pour indicateur à tambour



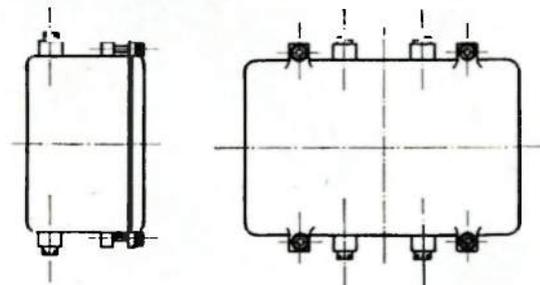
Sur Boîtier B-110
pour indicateur à tambour
avec boîtier arrière



Sur Boîtier B-40

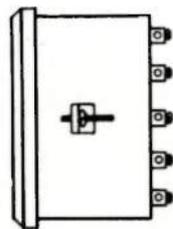


Sur Boîtier B-140
pour commutateur manuel étanche



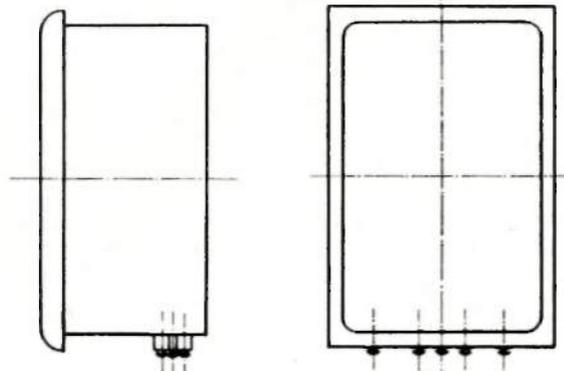
Sur Boîtiers B-70

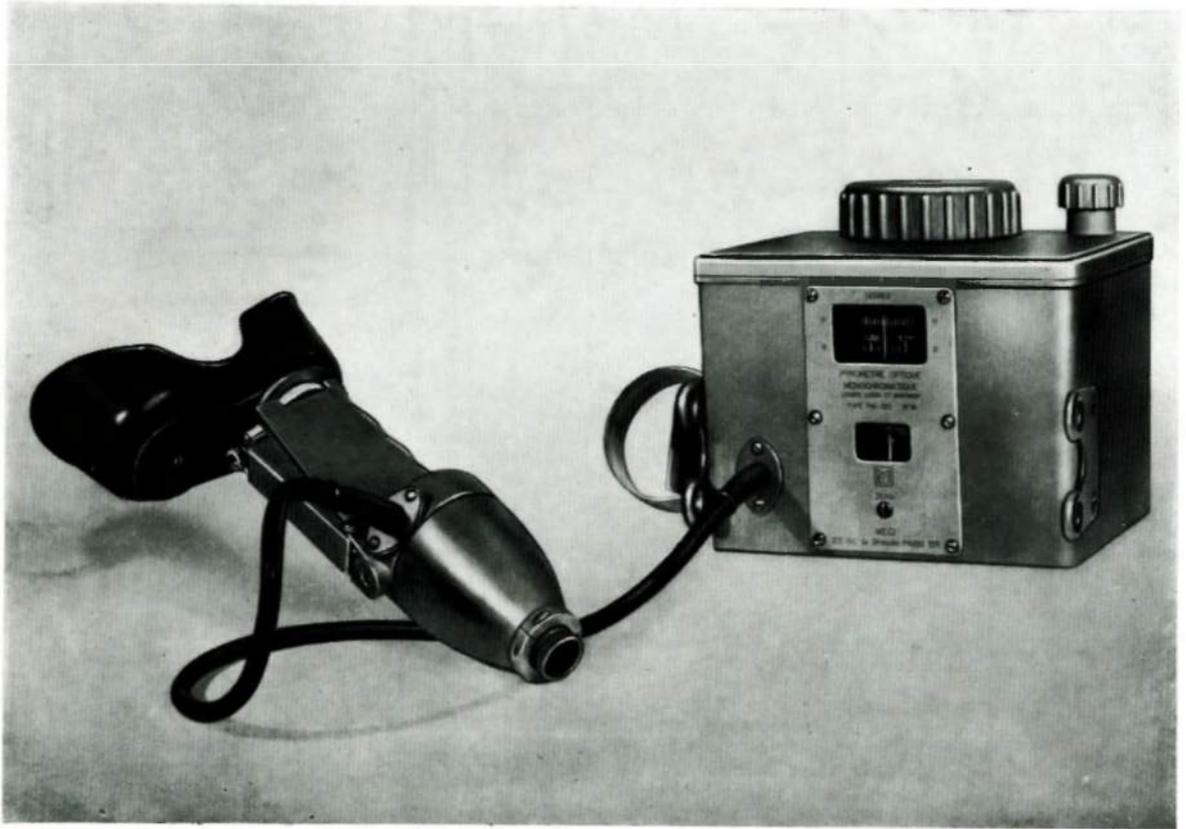
Pour appareils type Boîte à clés



encastré

Pour appareils type Indicateur manuel mural





LE PYROMÈTRE OPTIQUE A DISPARITION DE FILAMENT

Le pyromètre optique à disparition de filament que nous construisons est un appareil manuel portable indicateur, nécessitant l'appréciation de l'opérateur. Comme la lunette à radiation totale, il permet d'effectuer des mesures de températures par l'intermédiaire d'un rayonnement, mais il n'est guère utilisable pour les températures inférieures à 900° environ.

Son principe diffère toutefois de celui de la lunette à radiation totale par les deux points suivants :

- 1) Il n'utilise qu'une fraction (monochromatique) du rayonnement choisie dans la partie visible du spectre.
- 2) La température est déterminée par une mesure optique de brillance (1) et non plus par la mesure de la tension électrique engendrée par l'absorption directe des radiations.

La brillance du corps noir est, on le sait, uniquement fonction de la longueur d'onde et de la température absolue de ce corps (Formule de PLANCK). Or, les conditions dans lesquelles, en pratique, on effectue les mesures de température permettent le plus souvent d'assimiler au corps noir les sources visées. La brillance de telles sources ne dépend donc, pour une longueur d'onde déterminée, que de leur température.

(1) Rappelons ce que l'on entend par BRILLANCE d'une source rayonnante. Interceptons par un écran E une fraction de l'énergie rayonnée dans l'espace par une source, homogène, en équilibre thermique, de surface S. Si l'on suppose les dimensions de l'écran et de la source faibles devant la distance qui les sépare, l'ouverture d'un cône s'appuyant sur le contour de l'écran et dont le sommet M est pris sur la surface rayonnante, est pratiquement indépendante de la position du point M. Cette ouverture est mesurée en stéradians, par l'aire Ω de la surface découpée par le cône C sur une sphère de rayon unité centrée en M.

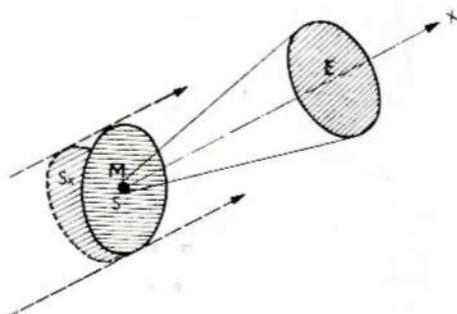


Fig. 51

Dans ces conditions, la puissance W rayonnée par la surface S et interceptée par l'écran E, est proportionnelle, d'une part à Ω et d'autre part à l'étendue de la surface **apparente** S_x dans la direction \vec{Mx} car l'influence de l'étendue de la source est nulle lorsque la direction \vec{Mx} est rasante.

Ecrivant par conséquent :

$$W = B \cdot S_x \cdot \Omega \quad (1)$$

on définit un facteur de proportionnalité B, appelé brillance de la source. Ce facteur dépend naturellement de la nature de la surface S et de son état physique. Il est par ailleurs, pour une source donnée, fonction de la température et de la longueur d'onde. Il peut enfin dépendre de la direction Mx considérée. Toutefois, dans le cas, très important en thermométrie, du corps noir, on démontre que la brillance est indépendante de la direction (Loi de LAMBERT). La simplification qui en résulte justifie l'introduction de la surface apparente S_x dans l'expression (1). La même loi s'applique aux surfaces métalliques

La brillance est mesurée en watts/cm² x stéradian.

En principe, le pyromètre optique à disparition de filament compare, pour une radiation de longueur d'onde déterminée choisie dans le rouge, la brillance de l'image de la source visée à celle d'un filament parcouru par un courant réglable. On ajuste ce courant de manière à réaliser l'égalité des brillances (1).

L'appareil est étalonné par comparaison avec un pyromètre étalon (2).

La mesure de la température est donc, en dernière analyse, ramenée à une mesure électrique qui, dans le cas de nos pyromètres, est faite avec précision par la méthode potentiométrique. Ainsi la détermination de la température s'effectue par l'intermédiaire de deux méthodes de zéro en cascade (comparaison de deux brillances d'une part, comparaison de deux tensions d'autre part). L'emploi d'une méthode de zéro pour la mesure électrique est amplement justifiée (l'expérience le montre) par la sensibilité avec laquelle l'œil est lui-même capable de réaliser l'égalité des brillances.

DESCRIPTION. — Le pyromètre optique à disparition de filament que nous construisons comporte deux parties : la lunette de visée, le boîtier de mesure.

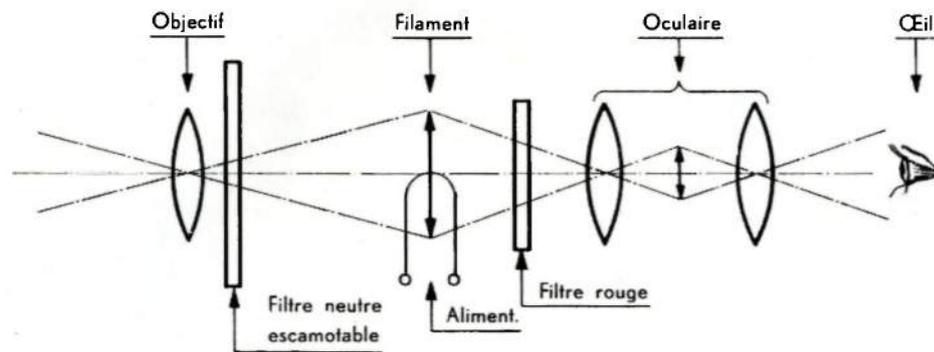


Fig. 52

La lunette de visée comprend : (fig. 52).

- une lampe étalonnée à filament calibré dont le courant d'alimentation est fourni par le boîtier de mesure.
- un filtre rouge servant à délimiter l'étroit domaine de longueur d'ondes où sera effectuée la comparaison des brillances du filament et de l'image de la source.

- un objectif. Il donne de la surface visée une image située dans le plan du filament de la lampe, si la distance de visée est supérieure ou égale à 20 cm.

Entre l'objectif et la lampe, on peut intercaler un filtre absorbant escamotable dont le rôle est d'affaiblir la brillance de l'image pour permettre la mesure des températures plus élevées par décalage du domaine de mesure. L'introduction de filtres absorbants de densité différente permet de réaliser des appareils à plusieurs échelles.

- un oculaire composé de deux lentilles. Il donne de l'image fournie par l'objectif une nouvelle image redressée et agrandie (25 fois).

Le schéma électrique du boîtier de mesure est représenté fig. 53.

Le contact C_1 étant fermé, on fait varier à l'aide d'un rhéostat R l'intensité du courant, donc la brillance du filament de la lampe, de manière à la rendre égale à celle de l'image de la source dont on veut mesurer la température.

Comme pour les mesures électriques de températures décrites aux chapitres précédents et pour les mêmes raisons de précision, fidélité et robustesse, on utilise pour mesurer l'intensité de ce courant une méthode de zéro.

(1) Ceci dans nos appareils. Il existe d'autres appareils dans lesquels le courant du filament est au contraire maintenu constant, l'égalité de brillance étant obtenue par variation de la brillance de l'image donnée par l'objectif au moyen d'un dispositif à absorption réglable.

(2) Le pyromètre étalon international lui-même utilise aussi un rayonnement monochromatique généralement sélectionné dans la partie rouge du spectre. Il permet d'atteindre, par l'intermédiaire de la formule de PLANCK, la température de la source visée en mesurant sa brillance par une méthode photométrique.

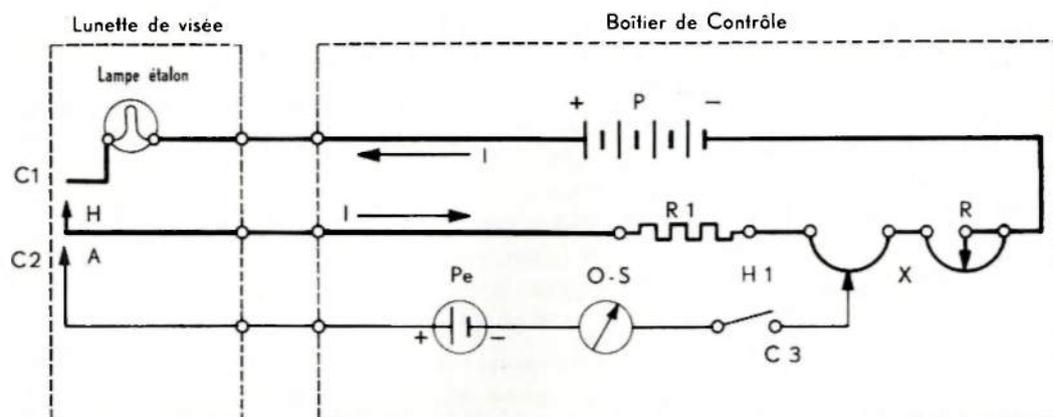


Fig. 53

A cet effet, les contacts C_2 et C_3 étant fermés, on amène le curseur X , mobile sur un fil calibré, dans une position telle que le galvanomètre $O-S$ reste au zéro; la chute de tension entre les points A et X est alors égale à la force électromotrice de la pile étalon Pe . Le curseur X se déplace devant une échelle graduée directement en température. C'est la position de ce curseur qui permet de lire sur l'échelle graduée la température cherchée.

Pour réduire la durée de la mesure, un dispositif à friction rend solidaire les curseurs du rhéostat et du fil calibré pendant la première partie de l'opération (réglage de l'intensité), les deux curseurs sont alors commandés par le gros bouton moleté (fig. 54).



Fig. 54

Pour la deuxième partie de l'opération (mesure de l'intensité du courant, donc de la température), il ne reste plus qu'une correction à opérer pour amener le galvanomètre au zéro; celle-ci est effectuée au moyen du petit bouton moleté dont la manœuvre entraîne automatiquement la fermeture du contact C_3 et le déplacement du rhéostat R .

UTILISATION. — Le pyromètre optique à disparition de filament est un appareil portatif donnant en quelques instants une indication précise de la température à mesurer pourvu que celle-ci soit supérieure à environ 900° (fig. 55).

On a vu précédemment que les pyromètres manuels portatifs sont souvent employés pour le contrôle des installations pyrométriques utilisant comme éléments détecteurs des thermocouples; de même le pyromètre optique à disparition de filament est couramment utilisé pour la vérification de l'étalonnage des installations pyrométriques utilisant comme éléments détecteurs des lunettes à radiation totale à poste fixe. Il se prête en effet parfaitement à cette vérification, principalement en raison de sa grande latitude de mise au point et de la certitude de son pointage sur la source rayonnante (la grandeur de l'image est telle que l'on peut repérer aisément le point dont on désire mesurer la température).

En outre, il peut être employé quand la surface de la source n'est pas suffisante pour permettre une mesure à l'aide d'une lunette à radiation totale ou naturellement quand l'importance de l'installation ne justifie pas la mesure de température à poste fixe.

Mais il exige l'appréciation d'un observateur et cette servitude (1) en limite l'emploi. En pratique on réservera de préférence cet appareil à l'étalonnage dans le domaine des températures élevées; la lunette à radiation totale est, au contraire, un appareil industriel dont le champ d'application est plus étendu. Elle se prête à l'enregistrement, au réglage automatique et à la mesure des températures plus basses.

Nous construisons deux types d'appareils :

— le pyromètre optique monochromatique à 2 échelles, type **PM 120**

— de 775° à 1.225° C.

— de 1.075° à 1.750° C.

— le pyromètre optique monochromatique à 3 échelles, type **PM 130**

— de 775° à 1.225° C.

— de 1.075° à 1.750° C.

— de 1.500° à 2.800° C.

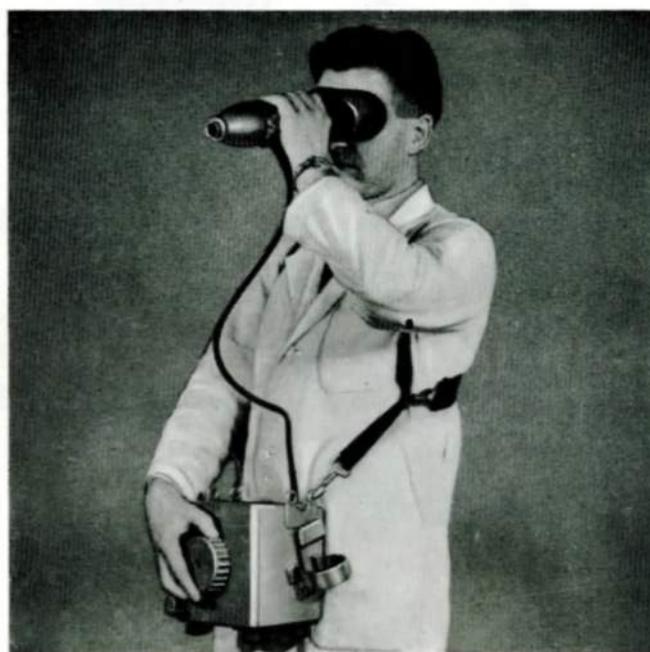


Fig. 55

(1) Il ne serait pas impossible de s'en affranchir et d'obtenir avec une lunette de ce principe une mesure automatique, mais il paraît inutile d'entrer dans cette voie alors que la lunette à radiation totale apporte une solution simple et commode.

ANNEXE

THÉORIE SUCCINCTE DES COUPLES THERMO-ELECTRIQUES

La force électromotrice des couples thermo-électriques est liée à l'existence d'une différence de température $\Theta_1 - \Theta_2$ entre les deux soudures. Lorsqu'il débite un courant, un couple thermo-électrique transforme donc en énergie électrique l'énergie calorifique que lui fournit le milieu extérieur pour maintenir la différence $\Theta_1 - \Theta_2$. Comme il est toujours loisible d'imaginer que l'énergie transportée par le courant est transformée en travail, il apparaît que la théorie des couples se rattache, comme celle des moteurs thermiques, au principe de Carnot.

En s'appuyant d'une part, sur l'observation expérimentale du phénomène connu sous le nom d'effet PELTIER, et, d'autre part, sur les conséquences théoriques du deuxième principe de la Thermodynamique, il est effectivement possible d'expliquer les propriétés essentielles des couples thermo-électriques. Le cheminement du raisonnement, dont les principales étapes sont rappelées dans cette annexe, est marqué par deux résultats importants : il met, d'une part, en évidence les différences de potentiel qui existent au contact de deux conducteurs de nature différente (effet VOLTA); il montre, d'autre part, qu'un conducteur homogène, dont la température n'est pas uniforme, est le siège d'une force électromotrice (effet THOMSON). La force électromotrice développée par un couple thermo-électrique apparaît finalement comme une manifestation de ces deux effets combinés.



EFFET PELTIER. — Considérons une portion de circuit AB, comportant deux conducteurs de nature différente, M et M', en contact suivant la section S. Afin d'éviter des répétitions inutiles, précisons que les quantités de chaleur envisagées dans ce paragraphe correspondent à des courants de même intensité et à des intervalles de temps égaux. En d'autres termes, il s'agit de quantités de chaleur libérées par le transport, de A en B ou de B en A, suivant le cas, d'une même charge électrique q circulant à une vitesse donnée v . L'application de la loi de JOULE à l'élément de circuit AB conduirait à énoncer que les quantités de chaleur qui viennent d'être définies sont indépendantes du sens du courant. C'est bien d'ailleurs ce que confirmeraient des mesures calorimétriques banales portant sur des courants de l'ordre de l'ampère, par exemple. Mais si l'on prend la précaution d'éviter des effets Joule trop importants, on observe, au contraire, moyennant l'emploi de méthodes calorimétriques sensibles, un écart systématique entre les mesures Q_1 et Q_2 des quantités de chaleur libérées par le passage du courant dans les sens respectifs AB et BA.

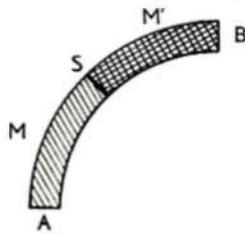


Fig. 1

On caractérise cette anomalie apparente par la demi-différence $Q' = \frac{Q_1 - Q_2}{2}$ (1), de telle sorte qu'en écrivant :

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q + Q' \\ Q_2 &= Q - Q' \end{aligned} \text{ avec } Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

les quantités de chaleur Q_1 et Q_2 apparaissent comme résultant d'un double échange de chaleur entre le circuit et le milieu extérieur, l'un Q irréversible, l'autre Q' réversible avec le sens du courant. Il est naturel de considérer Q comme la manifestation de l'effet Joule dans la résistance ohmique AB, et de localiser l'échange de chaleur annexe Q' , que l'on reconnaît lié à l'hétérogénéité du conducteur, au niveau de la surface de discontinuité S. Cette interprétation se trouve corroborée non seulement par la cohérence de l'ensemble de ses conséquences, mais aussi par le résultat expérimental direct suivant :

Si la portion de circuit considérée est maintenue à une température invariable T , le rapport $\frac{Q'}{q}$ est fixe. Il est indépendant de la charge q transportée et de sa vitesse de circulation. On modifie, par contre, sa valeur en substituant à l'un ou l'autre des conducteurs M, M', un troisième conducteurs M''. **Le rapport $\frac{Q'}{q}$ est donc une grandeur caractéristique du contact M:M' à la température T.**

Si l'on convient de mesurer Q' en joules et q en coulombs, $\frac{Q'}{q}$ doit être exprimé en volts. Nous verrons que ce rapport **décèle** effectivement une différence de potentiel entre M et M', mais précisons dès maintenant qu'il **ne fournit nullement la mesure de cette différence de potentiel**. Son ordre de grandeur est généralement de quelques millivolts.

EFFET VOLTA. — Pour faire apparaître le lien entre l'effet PELTIER et l'existence d'une différence de potentiel variable avec la température, entre les deux conducteurs en contact, montrons que l'effet PELTIER résulte généralement d'une telle différence de potentiel.

Nous supposons donc inégaux les potentiels V_M et $V_{M'}$ des deux conducteurs, en équilibre à la température absolue T , et nous nous proposons de démontrer que cette inégalité entraîne généralement l'existence de l'effet PELTIER.

Pour transporter une charge q de P en P', de part et d'autre de S (fig. 2) il faut fournir, contre le champ électrique \vec{E} (v. note 2), le travail : $W = q(V_{M'} - V_M)$.

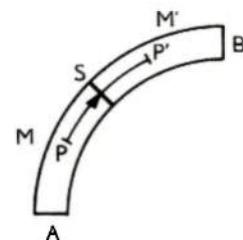


Fig. 2

(1) Les quantités de chaleur Q_1 , Q_2 , Q , Q' sont comptées algébriquement. Il est inutile ici de préciser la convention de signe adoptée. Plus loin, il sera commode de compter positivement les quantités de chaleur absorbées par le circuit.

(2) Comme, à l'intérieur des conducteurs en équilibre, le champ électrique est partout nul, sur une trajectoire telle que PP' (fig. 2), le champ \vec{E} est nul, sauf au niveau de la surface de séparation S, où se trouve localisée sur une infime épaisseur la chute de potentiel entre les deux conducteurs.



C'est bien ainsi que l'on définit la différence de potentiel en Electrostatique. Rappelons que, dans le calcul du travail W , on doit supposer que la force qui déplace la charge q est, à chaque instant, égale et opposée à l'action sur q du champ électrique. Par conséquent, le transport de cette charge, tel qu'il est implicitement envisagé dans la définition du potentiel électrique, correspond, en réalité, à une suite continue d'états d'équilibre et présente tous les caractères d'une **transformation réversible, et isotherme, dans le cas actuel**. On sait l'importance de ces précisions en Thermodynamique. Elles vont nous permettre de montrer que le travail W , fourni au système Σ constitué par la charge q , et le champ électrique \vec{E} , s'accompagne généralement d'un échange réversible de chaleur, que nous pourrions identifier à l'effet PELTIER.

Imaginons en effet le cycle élémentaire de Carnot défini par :

- 1° la circulation réversible de la charge q , de P en P' à la température absolue T .
- 2° la circulation réversible de la charge q , de P' en P à la température $T - dT$.
- 3° les variations adiabatiques $-dT$ et $+dT$ de la température des conducteurs.

Le travail fourni au système Σ comprend les deux termes suivants (1) :

$$q (V_{M'} - V_M)_T \text{ (circulation réversible de } P \text{ en } P' \text{ à } T) \\ - q (V_{M'} - V_M)_{T-dT} \text{ (circulation réversible de } P' \text{ en } P \text{ à } T - dT)$$

et vaut, par conséquent :

$$dW = q \cdot \frac{d(V_{M'} - V_M)}{dT} \cdot dT \quad (1)$$

Le théorème de Carnot, applicable au cycle précédent, permet d'exprimer, en fonction des seules températures absolues T_1 et T_2 des deux sources thermiques, le rendement η_i du cycle de Carnot par la relation connue :

$$\eta_i = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (T_1 > T_2) \text{ qui prend ici la forme :} \\ \eta_i = \frac{T - (T-dT)}{T} = \frac{dT}{T} \quad (2)$$

D'une façon générale, le rendement η_i est défini par le rapport du travail recueilli au cours du cycle (ici $-dW$) à la quantité de chaleur empruntée à la source chaude. Celle-ci **s'identifie, dans le cas actuel, à la chaleur Q' empruntée par le système Σ au milieu extérieur pendant le transport, effectué à la température T , de la charge q de P en P' .**

Compte tenu de (1) et de (2), il vient donc :

$$\eta_i = - \frac{dW}{Q'} = - \frac{q}{Q'} \cdot \frac{d(V_{M'} - V_M)}{dT} \cdot dT = \frac{dT}{T} \text{ et, par suite}$$

$$\boxed{\frac{Q'}{q} = - \frac{d(V_{M'} - V_M)}{dT}} \quad (3)$$

Supposons maintenant qu'un courant électrique parcourt la portion de circuit AB . A l'effet Joule, accompagnant le transport de la charge q , s'ajoute l'échange de chaleur Q' ou $-Q'$, suivant que le courant circule de A en B ou de B en A . Le rapport $\frac{Q'}{q}$ est, d'autre part, d'après (3), caractéristique du contact M/M' à la température T . C'est donc l'effet PELTIER que nous avons retrouvé en (3), et cette relation montre comment l'effet PELTIER dépend, **sans en fournir la mesure**, de la différence de potentiel de contact $V_{M'} - V_M$, qui porte plus spécifiquement le nom d'effet VOLTA.

La mesure directe de l'effet VOLTA est d'ailleurs très difficile en raison de la loi des chaînes métalliques énoncée par VOLTA lui-même :

Dans un circuit fermé, entièrement métallique, dont tous les contacts entre métaux de natures différentes sont à la même température, la somme algébrique des différences de potentiel de contact est nulle.



Le $\frac{Q'}{q}$ des conducteurs est considéré comme pratiquement invariable.

Cette loi permet de comprendre comment les différences de potentiel de contact entre les diverses portions de conducteurs métalliques d'un circuit fermé passent inaperçues dans les développements classiques de l'Electrocinétique et n'apparaissent pas, en particulier, dans les applications des lois de KIRCHHOFF.

C'est par des méthodes photo-électriques que MILLIKAN a pu atteindre expérimentalement l'ordre de grandeur de l'effet VOLTA. Il est couramment de l'ordre du volt. Ce résultat met bien en lumière l'importance de la distinction entre effet PELTIER et effet VOLTA.

EFFET THOMSON.

Nous considérons ici un conducteur unique homogène mais dont la température n'est pas uniforme. Le transport réversible d'une charge q par lequel on définirait comme précédemment la différence de potentiel entre deux points n'est plus isotherme. L'étude thermodynamique d'une telle transformation doit faire intervenir les deux fonctions énergie interne et entropie; elle permet d'établir le résultat suivant :

Entre deux points voisins du conducteur, dont les températures absolues sont T et $T + dT$, existe une différence de potentiel de la forme :

$$dV = h(T). dT$$

où $h(T)$ désigne une fonction caractéristique de la nature du conducteur.

Il en résulte qu'entre deux points A et B du conducteur, portés aux températures respectives T_1 et T_2 , règne la différence de potentiel :

$$V_A - V_B = \int_{T_2}^{T_1} h(T). dT$$

Si l'on cherche à déceler cet effet, connu sous le nom d'effet THOMSON, par un courant électrique, on est amené à fermer le conducteur en une boucle homogène. Mais, lorsque les deux extrémités du fil sont ainsi mises en contact, leurs températures s'équilibrent immédiatement et la tension résultante s'annule. On ne réussit donc pas à mettre en évidence l'effet THOMSON par ce procédé direct.

Par contre, l'effet THOMSON se manifeste, associé à l'effet VOLTA, lorsque le circuit fermé comporte deux conducteurs de nature différente, à condition toutefois, comme on le verra au cours du paragraphe suivant, que les températures des deux contacts soient inégales. Le circuit constitue, dans ce cas, un couple thermo-électrique ou thermocouple.

FORCE ÉLECTROMOTRICE DES COUPLES THERMO-ÉLECTRIQUES.

Le couple thermo-électrique ci-dessous (fig. 3) comprend deux conducteurs M_1 et M_2 distincts, dont les contacts A et B sont portés aux températures absolues T_1 et T_2 . Nous désignerons par $V(T)$ la différence de potentiel $V_{M_1} - V_{M_2}$, entre les deux conducteurs en équilibre à la même température T , par $h_1(T)$ et $h_2(T)$ les coefficients de l'effet THOMSON de chacun des conducteurs.

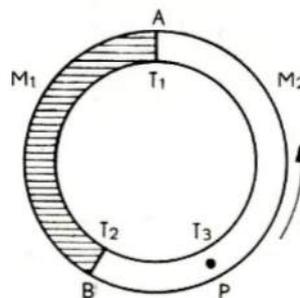


Fig. 3



Partant d'un point arbitraire P (température T_3) et décrivant le circuit dans le sens de la flèche, on remonte successivement les différences de potentiel suivantes :

$$\int_{T_3}^{T_1} h_2(T) dT ; V(T_1) ; \int_{T_1}^{T_2} h_1(T) dT ; -V(T_2) ; \text{ et } \int_{T_2}^{T_3} h_2(T) dT.$$

La somme algébrique de ces termes se réduit à :

$$E = V(T_1) - V(T_2) + \int_{T_2}^{T_1} [h_2(T) - h_1(T)] dT$$

Cette expression appelle les remarques suivantes :

- 1) Nulle lorsque $T_1 = T_2$, elle diffère de zéro, sauf coïncidence accidentelle, dès que T_1 n'est plus égal à T_2 .
- 2) Elle ne dépend que des températures T_1 et T_2 des deux contacts et se présente finalement sous la forme : $f(T_1) - f(T_2)$. Elle est donc indépendante du choix de l'origine P du parcours et, par suite, de la température T_3 qui règne en ce point.
- 3) On constate que l'effet THOMSON et l'effet VOLTA (ou, du moins, sa variation entre les températures T_1 et T_2), apportent tous deux leur contribution à cette somme.

En reprenant un raisonnement analogue au précédent, on établit sans peine que :

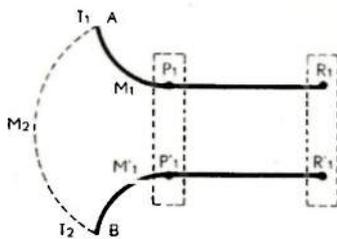


Fig. 4

1) Si l'on ouvre le circuit fermé de la figure 3 en un point arbitraire P, et si l'on prend soin de maintenir égales les températures des bords $P_1 P_1'$ de la coupure, la tension entre P_1 et P_1' est encore égale à E. La coupure P peut, en particulier, coïncider avec l'une des soudures.

2) Le circuit du thermocouple étant ouvert dans les conditions qui viennent d'être précisées, si l'on connecte en P_1 et P_1' deux fils de **même nature**, on retrouve la même tension E entre les extrémités libres $R_1 R_1'$ des deux fils, pourvu que les températures en R_1 et R_1' soient égales.

Ces deux énoncés trouvent une application immédiate dans la mesure des forces électromotrices des thermocouples.

3) Démontrons enfin une troisième propriété qui justifie l'emploi des câbles de compensation :

Si, dans le circuit du thermocouple, on remplace un tronçon du conducteur M_1 par un conducteur de nature différente M_1' , et, de même, un tronçon de M_2 par un autre conducteur M_2' , la force électromotrice développée par le nouveau circuit thermoélectrique dont les soudures chaude et froide sont inchangées (fig. 5) est encore égale à E, si les conditions suivantes sont respectées :

- a) les températures des deux contacts M_1/M_1' et M_2/M_2' les plus proches d'une même soudure sont égales ;
- b) T_3 et T_4 désignant les températures respectives de ces deux paires de contact, les deux thermocouples que l'on pourrait réaliser en associant les conducteurs $M_1 M_2$ d'une part, et $M_1' M_2'$ d'autre part, doivent développer la même force électromotrice, lorsque leurs soudures sont respectivement portées aux températures T_3 et T_4 (fig. 6).

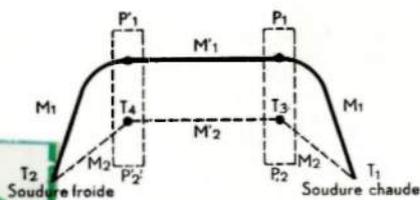


Fig. 5

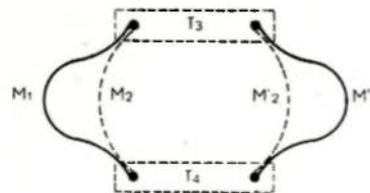


Fig. 6

Evaluons d'abord la différence de force électromotrice ΔE introduite par l'incorporation des conducteurs M_1', M_2' dans le circuit de la figure 5 :

$$\Delta E = V_{M_2'/M_1}(T_4) + \int_{T_4}^{T_3} (h_2' - h_2) dT + V_{M_2/M_2'}(T_3) + V_{M_1'/M_1}(T_3) + \int_{T_3}^{T_4} (h_1' - h_1) dT + V_{M_1/M_1'}(T_4) \quad (5)$$

Exprimons d'autre part que la différence des forces électromotrices des deux thermocouples de la fig. 6 est nulle :

$$V_{M_1'/M_2'}(T_3) + V_{M_1'/M_1'}(T_4) + \int_{T_4}^{T_3} (h_2' - h_1') dT = V_{M_1/M_2}(T_3) + V_{M_2/M_1}(T_4) + \int_{T_3}^{T_4} (h_2 - h_1) dT \quad (6)$$

L'égalité (6) entraîne bien $\Delta E = 0$, car, en appliquant successivement la loi des chaînes métalliques (aux deux températures T_3 et T_4) à la chaîne M_1, M_2, M_2', M_1' ou vérifie que :

$$V_{M_1'/M_2'}(T_3) - V_{M_1/M_2}(T_3) = V_{M_2/M_2'}(T_3) + V_{M_1'/M_1}(T_3)$$

$$V_{M_2'/M_1'}(T_4) - V_{M_2/M_1}(T_4) = V_{M_2'/M_2}(T_4) + V_{M_1/M_1'}(T_4)$$

Application à la mesure des forces électromotrices des thermocouples.

Les bornes du thermocouple peuvent, sans inconvénient, être reliées aux bornes de l'appareil de mesure par l'intermédiaire de fils de cuivre, moyennant les précautions spécifiées en 2). Le bobinage du potentiomètre, généralement en manganine, présente d'ailleurs des caractéristiques thermoélectriques assez proches de celles du cuivre. Cette circonstance rend donc négligeables les répercussions d'un éventuel léger défaut d'isothermie entre les bornes R_1, R_1' . Lorsque le dispositif de mesure doit en outre comporter une bobine de compensation de soudure froide, constituée par un métal ou un alliage particulier, le constructeur prend soin de la ramasser dans un étroit volume, thermiquement bien protégé, dont la température reste uniforme : aucune force électromotrice parasite n'est ainsi engendrée au sein de l'appareil de mesure.

Loi des températures successives.

Si le contact A est successivement porté aux températures T' et T'' , tandis que le contact B est maintenu à la température de référence T_0 , nous observons tour à tour les forces électromotrices :

$$E' = V(T') - V(T_0) + \int_{T_0}^{T'} [h_2(T) - h_1(T)] dT$$

$$E'' = V(T'') - V(T_0) + \int_{T_0}^{T''} [h_2(T) - h_1(T)] dT$$

La différence entre ces deux expressions s'écrit :

$$E'' - E' = V(T'') - V(T') + \int_{T'}^{T''} [h_2(T) - h_1(T)] dT$$

Elle est égale à la force électromotrice que développe le couple lorsque le contact A est porté à la température T'' et le contact B à la température T' .

Cette loi permet ainsi de calculer immédiatement la force électromotrice du thermocouple dans tous les cas, dès que l'on a tracé la seule courbe donnant sa force électromotrice en fonction de la température T de l'un des contacts, lorsque l'autre contact est maintenu à une température de référence fixe T_0 . On retrouve donc ici un résultat d'une grande portée pratique, déjà énoncé page 9.

La bobine de compensation de soudure froide des potentiomètres MECL tient compte de la courbure de la courbe d'étalonnage du thermocouple auquel elle est associée.

Il convient toutefois de remarquer que, dans la zone d'utilisation normale d'un couple thermo-électrique donné, la portion de courbe d'étalonnage utile est assez voisine d'un segment de droite, pour que l'on puisse



définir sans ambiguïté l'ordre de grandeur de la sensibilité. Quelques valeurs numériques se rapportant aux thermocouples les plus couramment utilisés ont été indiquées page 10.

LE CÂBLE DE COMPENSATION. — Il est intéressant d'appliquer au câble de compensation les résultats de la théorie précédente. Le but et le principe de ce câble ont déjà été exposés par ailleurs (cf. généralités page 11), mais la démonstration de la propriété 3) page 91 permet de préciser ce qu'il faut exactement entendre par « fils de mêmes caractéristiques thermoélectriques ».

Le circuit de la figure 5 correspond en effet au cas du thermocouple muni de son câble de compensation : les conducteurs M_1' M_2' y jouent le rôle des fils de ce câble. En pratique, les extrémités P_1' P_2' coïncident avec la soudure froide, où l'on choisit généralement d'ouvrir le circuit. Ces extrémités constituent donc les bornes du système : thermocouple - câble de compensation.

La température T_3 n'étant pas connue à l'avance, la condition b) illustrée par la fig. 6 doit être réalisée dans toute l'étendue du domaine des valeurs possibles de cette température.

Les forces électromotrices du thermocouple constitué par les fils du câble de compensation d'une part, et du thermocouple de mesure d'autre part, doivent donc être pratiquement égales dans le domaine de température considéré, lorsque les soudures chaude et froide des deux couples sont portées à des températures respectivement égales (fig. 7).

C'est bien là la traduction concrète que l'on pouvait attendre de la similitude des caractéristiques thermoélectriques des deux couples de fils f_1 f_2 et f_1' f_2' .

On peut aussi remarquer que l'égalité (6) exprime que les divergences entre les variations des effets VOLTA des deux thermocouples dans l'intervalle de température T_3 T_4 se trouvent compensées par la différence qui résulte, dans le même intervalle de température, de l'inégalité éventuelle de leurs effets THOMSON. Cette remarque peut justifier la terminologie employée pour désigner le câble de compensation.

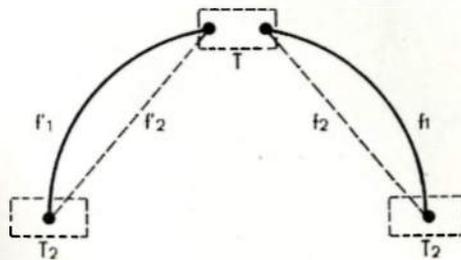


Fig. 7