

# THERMOMÈTRES & PYROMÈTRES



## à tension de Vapeurs Saturées

Indicateurs, Enregistreurs, Avertisseurs & Explorateurs  
de la température à distances facultatives  
dans toute l'étendue de l'échelle des températures industrielles

(Brevetés S. G. D. G. en France et à l'Étranger)



PAR

**J. B. FOURNIER**

ATTACHÉ AU LABORATOIRE DES RECHERCHES PHYSIQUES DE LA SORBONNE

### APPLICATIONS MULTIPLES :

*Mesures de précision — Laboratoires — Observatoires — Industries  
Malteries — Préparation des levures de grains — Brasseries  
Distilleries et Sucreries — Poudreries et Manufactures de tabacs  
Vulcanisation du caoutchouc et des étoffes caoutchoutées  
Préparation des vernis et couleurs, des cylindres de phonographes  
Soutes à munitions — Dépôt de poudres et fulmicoton  
Chambres frigorifiques pour denrées alimentaires — Industries chimiques  
de tous genres  
Séchoirs de toute nature — Fours de boulangers — Silos pour grains  
Agriculture — Serres  
Pyromètres pour carneaux de cheminées — Surchauffe de la vapeur  
Faïenceries — Céramique — Préparation des alliages  
Métallurgie*

Communiqué par la Société en commandite par actions, dite :

**SOCIÉTÉ DES APPAREILS FOURNIER**

**SIÈGE SOCIAL : 11, RUE CAMPAGNE-PREMIÈRE, PARIS (XIV<sup>ME</sup>)**

*Administrateur-Gérant: M. FOURNIER*

Président du Conseil de Surveillance :

**M. J.-J. PILLET**

Professeur

au Conservatoire National des Arts-&Métiers  
à l'École des Ponts-et-Chaussées et à l'École Polytechnique  
Officier de la Légion d'Honneur



ULTIMHEAT®  
VIRTUAL MUSEUM



# THERMOMÈTRES & PYROMÈTRES

## à tension de Vapeurs Saturées

Indicateurs, Enregistreurs, Avertisseurs & Explorateurs  
de la température à distances facultatives  
dans toute l'étendue de l'échelle des températures industrielles

(Brevetés S. G. D. G. en France et à l'Étranger)



PAR

**J. B. FOURNIER**

ATTACHÉ AU LABORATOIRE DES RECHERCHES PHYSIQUES DE LA SORBONNE

### APPLICATIONS MULTIPLES :

*Mesures de précision — Laboratoires — Observatoires — Industries  
Malteries — Préparation des levures de grains — Brasseries  
Distilleries et Sucrieries — Poudreries et Manufactures de tabacs  
Vulcanisation du caoutchouc et des étoffes caoutchoutées  
Préparation des vernis et couleurs, des cylindres de phonographes  
Soutes à munitions — Dépôt de poudres et fulmicoton  
Chambres frigorifiques pour denrées alimentaires — Industries chimiques  
de tous genres  
Séchoirs de toute nature — Fours de boulangers — Silos pour grains  
Agriculture — Serres  
Pyromètres pour carneaux de cheminées — Surchauffe de la vapeur  
Faïenceries — Céramique — Préparation des alliages  
Métallurgie*

Communiqué par la Société en commandite par actions, dite :

**SOCIÉTÉ DES APPAREILS FOURNIER**

**SIÈGE SOCIAL : 11, RUE CAMPAGNE-PREMIÈRE, PARIS (XIV<sup>ME</sup>)**

*Administrateur-Gérant : M. FOURNIER*

Président du Conseil de Surveillance :

**M. J.-J. PILLET**

Professeur

au Conservatoire National des Arts-&-Métiers  
à l'École des Ponts-et-Chaussées et à l'École Polytechnique  
Officier de la Légion d'Honneur



ULTIMHEAT®  
VIRTUAL MUSEUM

## INTRODUCTION

Grâce à son principe et à sa disposition qui permettent d'évaluer la température en un lieu aussi éloigné qu'on le désire du lieu d'observation, l'appareil, dont la description et la critique suivent, rendra certainement de grands services aussi bien dans les mesures de précision que dans l'Industrie.

Comme nous le verrons dans la suite, la température est transmise aux organes indicateurs ou inscripteurs par un petit tube métallique flexible qui peut être aussi long qu'on le désire et qui porte à son extrémité une ampoule minuscule qui est la seule partie sensible de l'appareil. Il suffira donc de mettre en relation cette partie sensible avec le milieu dont on veut connaître ou enregistrer la température.

Cette disposition commode, qui rend facile l'*exploration* du milieu thermique sans avoir à toucher à l'appareil, jointe à la grande précision de ce dernier, rend son usage indispensable dans un grand nombre d'applications dont nous allons énumérer les principales.

*Industrie.* — Dans la grande métallurgie du fer, de l'acier et autres métaux ; hauts fourneaux, cubilots, creusets.

Céramique et industries connexes.

Dans les sucreries et distilleries, fabrication des alcools, liqueurs, extraits.

Dans les brasseries, cuves de fermentation.

Dans les industries relatives aux applications de caoutchouc : vulcanisation, imperméabilisation des tissus, etc., etc.

Séchoirs de toutes natures pour bois, cuirs, cartons, pâtes alimentaires.

Préparation et fermentation des tabacs.

Préparation des produits chimiques et pharmaceutiques.

*Médecine, Chirurgie, Hygiène.* — Température des malades. Facilité pour le médecin ou son aide de prendre la température d'un malade avec une très grande précision sans toucher à l'appareil par développement du tube flexible et placement convenable de l'ampoule sensible. Faculté d'*enregistrer* cette température en fonction du temps et cela pendant tout le temps voulu sans aucune fatigue pour le malade ni surveillance du médecin, alors même que le malade est plongé dans un bain (typhiques) ou soumis à l'action du chloroforme (opérés).

En chirurgie : pour la température des étuves à stérilisation des instruments et objets de pansement, pour les étuves à désinfections sèches ou humides, pour la préparation des bains locaux et généraux.

L'appareil ne sera pas moins intéressant et utile dans

les usages domestiques et les applications à l'hygiène. Il permettra au particulier, soucieux de sa santé, de surveiller la température de son bain ou d'apprécier, du coin de son feu ou au moment de sortir, les différences de température extérieures ou intérieures, facteurs de la plupart des maladies aiguës dites refroidissement. Grâce à cet appareil, il sera loisible à chacun de connaître, sans se déplacer, la température de lieux éloignés, celles de différentes pièces d'un appartement comme celle de la rue ou du jardin.

Enfin, il est des cas où la faculté d'évaluer les températures à très grande distance rendra d'inappréciables services ; par exemple, pour un contremaître ou un directeur d'usine qui sera renseigné à son bureau même et par une *simple lecture*, sur la température et par suite sur la pression de ses générateurs de vapeur, l'appareil constituant dans ce cas un remarquable instrument de contrôle et de sécurité.

*Mesures de précision.* — Laboratoires de physique, chimie, observatoires, stations météorologiques, etc.

Nous voyons que l'appareil qui nous occupe et dont les avantages sont contradictoirement exposés et discutés ci-après, n'a pas seulement la prétention de combler de sérieuses lacunes existant dans l'évaluation et la mesure des températures industrielles, mais aussi d'être plus parfait que les thermomètres de précision employés jusqu'ici dans les recherches purement scientifiques.

Nous diviserons cette discussion en deux parties :

parties industrielle (en gros caractères), partie scientifique (caractères réduits).

### Principe de l'appareil

L'organe essentiel de l'appareil dont il vient d'être question est constitué par un tube en acier *c a b*, figure 1, à section elliptique, roulé en forme de *tore*.

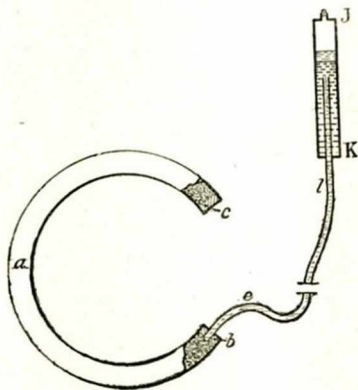


Fig. 1.

Après avoir rempli ce tube d'une manière inerte et peu dilatable, telle que du sable, on ferme ses deux extrémités au moyen de deux bouchons soudés sur le tube.

Dans le bouchon *b* s'engage un tube flexible *b e l*, dont on peut faire varier la longueur à volonté.

Ce petit tube généralement capillaire est fixé sur le



bouchon *b* par soudure autogène ou à l'argent et communicative avec l'intérieur du tore.

Son autre extrémité est mise en relation avec une capacité de contenance déterminée, constituée soit par un tube unique J K, soit par un faisceau de tubes métalliques. Quelle que soit la forme de cette capacité, l'extrémité ouverte du petit tube est placée à son intérieur de telle sorte que tous les plans passant par cette extrémité divisent sensiblement en deux parties égales la capacité en question, quelle que soit l'orientation de ces plans.

On introduit d'abord dans ce système un liquide aussi peu volatil que possible, tel qu'une huile convenable ou du mercure, de façon que ce liquide occupe, dans la capacité J K, un volume supérieur à la moitié de cette capacité. Au-dessus de ce liquide on introduit quelques décigrammes d'un liquide assez volatil pour que, dans l'intervalle des températures entre lesquelles doit *fonctionner* l'appareil, ce liquide puisse se réduire à l'état de VAPEUR SATURANTE ayant une tension notable, puis on ferme le système.

Le tube ou le faisceau de tubes qui constitue la petite capacité J K, est la seule partie réellement sensible à la chaleur.

Sous l'action de cet agent, la tension de vapeur du liquide volatil que contient cette capacité varie et détermine dans le gros tube *c a b*, par l'intermédiaire du liquide non volatil, des mouvements correspondants



d'extension ou de contraction. Si l'on fixe l'extrémité  $b$  du gros tube, l'extrémité  $c$  restant libre, cette extrémité traduira, par ses mouvements, toutes les variations de température auxquelles sera soumise la capacité  $J K$ . Ce sont ces mouvements que nous allons utiliser dans la suite pour la mesure de la température dans les divers cas de la pratique ; mais avant d'en décrire les applications, voyons ce que l'appareil présente de nouveau sur ses devanciers.

### Défauts des appareils existants

*De l'amplitude des mouvements dont il vient d'être question dépend, pour des variations données de la température, la sensibilité de l'appareil.*

Or, le présent appareil repose, comme on vient de le voir, sur la loi des variations des tensions de vapeur avec la température, tandis que les appareils similaires employés jusqu'ici reposent sur le phénomène de dilatation.

Examinons les conséquences pratiques de ces principes différents au point de vue qui nous occupe.

Les thermomètres métalliques basés sur le principe de la dilatation ne peuvent pas donner de bons résultats dans la pratique courante pour les raisons suivantes :

1° *Ils manquent de sensibilité.*

Pour mieux fixer les idées, supposons que le thermomètre soit réduit à un cylindre  $X Y$  (fig. 2) de 10 centi-

mètres carrés de section et de 20 centimètres de longueur dans lequel puisse se mouvoir un piston P dont le déplacement indiquera la température ; plaçons derrière ce piston une substance dilatable, par exemple du mercure dont le coefficient de dilatation est égal à  $1/5550$ . Il convient de remarquer que, dans les thermo-

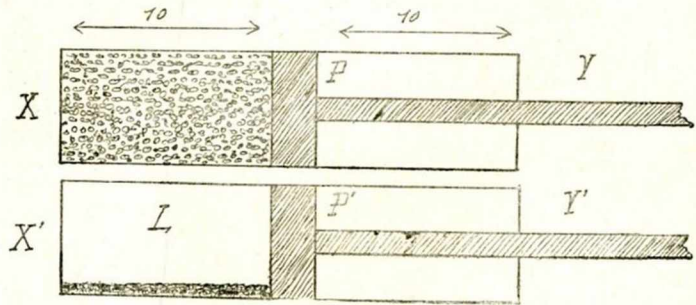


Fig. 2 et 3.

mètres métalliques industriels à dilatation d'un fluide quelconque, ce fluide doit toujours *remplir entièrement* l'enceinte dans laquelle il est placé. Faisons augmenter de  $t_0$  à  $t_0 + 1$  degrés la température de ce système, le mercure va se dilater et, en faisant abstraction de la dilatation de l'enveloppe du cylindre, son augmentation de volume évaluée en centimètres cubes sera de  $100/5550$ , soit  $1/55$  de centimètre cube environ.

La section du cylindre étant de 10 centimètres carrés, cette augmentation de volume ne peut faire avancer le piston de plus de  $1/5$  de millimètre lors même que ce

piston et les organes que sa tige doit mouvoir, n'offrieraient aucune résistance au mouvement.

Considérons en second lieu le même dispositif dans lequel on a remplacé le mercure par un liquide L (fig. 3), capable d'émettre, à la température  $t_0$ , des vapeurs saturantes de tension convenable, et supposons le piston en équilibre au même point de sa course que précédemment. Si nous portons ce système, de la température  $t_0$  à la température  $t_0 + 1$  degrés, cette augmentation de température aura pour effet une augmentation de la tension de vapeur du liquide qui produira sur le piston une force constante capable de faire avancer indéfiniment le piston tant qu'il reste derrière celui-ci une parcelle du liquide. En particulier, si la résistance que la tige du piston a à vaincre est inférieure à l'augmentation de tension de vapeur correspondant à l'augmentation de température, le piston P' est poussé jusqu'au fond de son cylindre.

Dans les deux cas que nous venons de considérer : *les grandeurs des déplacements de pistons représentent les sensibilités respectives des deux systèmes comparés.*

Dans le système à dilatation, cette sensibilité est représentée par  $1/5$  de millimètre, tandis que dans l'autre elle n'est limitée que par la longueur du cylindre.

Cette conclusion est d'ailleurs une conséquence directe d'un principe de physique bien connu, à savoir : *Que la*

*tension d'une vapeur saturante est indépendante de l'espace qu'elle occupe.*

Il est bien évident que, dans la pratique, la résistance des organes à mouvoir atténue la sensibilité dans les deux cas.

*2° Les thermomètres métalliques industriels basés sur la dilatation manquent de précision.*

Supposons que pour une cause quelconque la portion du cylindre dans laquelle se trouve le mercure  $M$  vienne à être déformé légèrement et, toujours pour fixer les idées, supposons que cette déformation se traduise par une augmentation de capacité du cylindre. Si cette augmentation de capacité est supérieure à  $1/55$  de centimètre cube le piston ne bouge plus quand on fait varier la température de  $t^{\circ}$  à  $t' + 1$  degrés. La déformation de l'enceinte qui contient la substance dilatable peut ainsi varier le réglage de ces appareils de plusieurs degrés et rendre leurs indications tout à fait ridicules.

De fait, ces déformations et les dérèglages qui en sont la conséquence se produisent d'une façon permanente dans la pratique sous l'effet des pressions intérieures et surtout de la dilatation brutale des solides et des liquides.

Dans notre appareil ces déformations ne peuvent en rien influencer son réglage, puisque la tension d'une vapeur saturante est absolument indépendante du volume qu'elle occupe. La partie sensible de notre appareil peut donc être déformée, aplatie, tordue, sans autre inconvénient que le risque de percer l'enveloppe.

3° Dans les thermomètres métalliques basés sur la dilatation d'un liquide ou d'un gaz, la moindre fuite en un point quelconque du système met rapidement l'appareil hors d'usage.

Il est facile de voir qu'une fuite équivaut à une déformation entraînant une augmentation de capacité du système contenant la substance dilatable.

Considérons à nouveau le cylindre précédent, figure 2; supposons que le thermomètre ainsi simplifié doive fonctionner à des températures comprises entre 40 et 50 degrés et que la pression maxima nécessaire pour faire mouvoir les organes indicateurs, soit de 20 kilogrammes. En nous reportant aux nombres précédents, nous voyons qu'une fuite de mercure de 10/55 de centimètre cube, soit de 1/5 de centimètre cube environ, non seulement dérègle l'appareil mais encore le met complètement hors d'usage puisque, pour toutes les températures comprises entre 40 et 50 degrés, le piston ne pourra faire aucun mouvement.

Substituons au mercure un liquide à tension de vapeur convenable, de l'ammoniac anhydre par exemple, dont 1 gramme donne 1.350 centimètres cubes de gaz dans les conditions normales, il faudra seulement pour produire l'effort maximum considéré, soit 20 kilogrammes, 1 gramme et demi d'ammoniac anhydre qui représente 2.025 centimètres cubes de gaz. S'il y a fuite, l'appareil se dérègle avec une extrême lenteur et avant qu'il soit hors d'usage entre 40 et 50 degrés, il faut qu'il se soit

perdu 1925 centimètres cubes de gaz au lieu de 1/5 de centimètre cube dans le cas du système à dilatation.

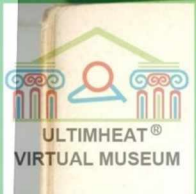
Ce qui veut dire que (si les fuites sont les mêmes dans les deux cas) il faudra, pour être hors d'usage, dix mille fois plus de temps au thermomètre à tension de vapeur qu'au thermomètre à dilatation.

4° *Dans les thermomètres métalliques industriels fondés sur la dilatation des gaz et des liquides, il est nécessaire, si l'on veut avoir quelque sensibilité, de donner à l'enceinte qui renferme la substance dilatable des dimensions relativement énormes.*

Comme nous l'avons démontré précédemment: Pour une variation de température donnée, c'est l'amplitude des mouvements communiqués aux organes indicateurs qui fait la sensibilité de l'appareil; or, cette amplitude ne peut être grande que si la variation de volume de la substance dilatable est elle-même considérable; d'autre part, cette variation de volume est d'autant plus grande que le volume initial de la substance dilatable est plus considérable. On augmentera donc la sensibilité des thermomètres métalliques à dilatation, en donnant des grandes dimensions à l'enceinte qui contient cette substance.

Cette augmentation indispensable, de la masse de substance dilatable, entraîne dans la pratique de très graves inconvénients:

I. — L'appareil devient extrêmement paresseux, en ce sens qu'il lui faut un temps considérable pour se



mettre en équilibre avec le milieu dont il doit indiquer la température : d'où retard dans la manœuvre des organes indicateurs ou enregistreurs et, par suite, défaut de précision.

II. — Nombreuses chances de fuite par le fait de la multiplication des soudures sur l'enceinte contenant la substance dilatable.

III. — Encombrement considérable qui, en supposant qu'un thermomètre métallique à dilatation puisse donner le moindre résultat utile, donnerait à l'appareil un aspect peu gracieux.

Dans notre appareil, l'enceinte à tension de vapeur n'atteint pas les dimensions d'un thermomètre à mercure ordinaire et, comme cette enceinte est formée par un tube métallique à mince paroi, l'appareil se met aussi vite et même plus vite que le thermomètre en équilibre de température avec le milieu dont il doit indiquer la température.

C'est là une condition nécessaire de bon fonctionnement.

*5° Dans les thermomètres métalliques à dilatation, toutes les parties de l'enceinte contenant la substance dilatable participent à la dilatation.*

Il est évident que la lecture faite sur ces instruments n'est que la résultante des diverses variations de volume provoquées par les variations de température, tant sur la substance dilatable que sur l'enveloppe qui renferme cette substance. L'emploi d'un tel thermomètre devient



absolument ridicule, si chaque fois qu'on s'en sert, l'enceinte qui contient la substance dilatable n'est pas plongée entièrement dans le milieu dont il s'agit d'évaluer la température, de façon que la variation thermique soit la même en tous les points de cette enceinte. Cette condition nécessaire entraîne de graves inconvénients car, suivant la température, suivant la nature de ce milieu, les organes de l'instrument peuvent être déformés ou détériorés. De plus, dans beaucoup de cas, les dimensions du milieu peuvent être trop restreintes pour pouvoir y introduire l'appareil.

Tous ces inconvénients sont radicalement supprimés par l'emploi du thermomètre à tension de vapeur saturée.

En effet, *la seule partie de l'appareil qui doit être introduite dans l'enceinte à chauffer est le cylindre que porte l'extrémité du tube flexible, cylindre qui, dans les applications qui viennent d'être signalées, se réduit à un petit tube métallique ayant 6 centimètres de longueur sur 6 millimètres de diamètre extérieur. Les variations de température le long du tube flexible ou sur toutes les autres parties de l'appareil n'ont aucune influence sur ses indications.*

### **Thermomètres métalliques fondés sur la dilatation des solides**

Ces instruments sont certainement plus défectueux encore que les thermomètres basés sur la dilatation d'un

fluide car, aux inconvénients signalés précédemment viennent s'ajouter les déformations permanentes du solide, déformations qui résultent des variations de température auxquelles a été soumis l'appareil.

*En résumé, nous venons de démontrer que les thermomètres métalliques existants, fondés sur le principe de la dilatation, ne peuvent avoir ni la sensibilité ni la précision nécessaires dans la plus grossière pratique.*

*Que ces appareils sont sujets à un dérèglement dont les causes énoncées ci-dessus sont permanentes.*

*Que, par leur encombrement, par leur complication, ils sont exclus du plus grand nombre des applications où un thermomètre métallique s'impose.*

*Qu'il est absolument impossible de les appliquer dans les cas extrêmement intéressants dans la pratique, de l'évaluation de la température à distance.*

Nous avons également montré dans la comparaison qui précède que notre appareil, basé sur la loi des tensions de vapeurs saturées, ne possède aucun de ces graves défauts. En concluant, nous ne nous défendons donc pas de prétendre que, vis-à-vis de cet appareil nouveau, les rares thermomètres métalliques existants ne sont que des concurrents tout à fait négligeables.

**Emploi du thermomètre à tension de vapeur saturée comme thermomètre de haute précision dans les laboratoires, dans les observatoires, etc. Comparaison de cet appareil avec les thermomètres à air et à mercure employés dans les recherches scientifiques.**

Nous venons de voir l'appareil dans ses applications industrielles, examinons maintenant ses applications au point de vue purement scientifique.

Tout physicien de laboratoire sait que, parmi toutes les méthodes qui permettent d'arriver à un but déterminé, la meilleure est celle qui présente le minimum de corrections sur les indications fournies par les appareils employés au cours du travail proposé. Celui-là sait aussi que, parmi les multiples appareils employés dans les recherches scientifiques, la catégorie d'instruments qu'on appelle thermomètres ou thermoscopes : *thermomètre à air, dénommé aussi thermomètre normal, thermomètre à mercure à tige de verre*, est celle dont l'emploi exige les corrections les plus nombreuses, les plus longues et par suite les plus incertaines.

Pour nous faire une très légère idée de ces corrections, résumons les principales opérations que doit subir la lecture d'un thermomètre à mercure avant de pouvoir être considérée comme une mesure précise.

Par définition, on convient qu'entre les deux points fixes

(généralement le point  $0^{\circ}$  C.,  $0^{\circ}$  R.,  $32^{\circ}$  F. correspond à la température de la glace fondante ; le point  $100^{\circ}$  C.,  $80^{\circ}$  R.,  $212^{\circ}$  F. à la température d'ébullition de l'eau sous les conditions normales de pression), le coefficient de dilatation du mercure est constant. On sait que pour déterminer ces points, le thermomètre (réservoir et tige) est entièrement immergé dans les milieux donnant la température des points fixes. L'intervalle mesuré sur la tige, et compris entre les deux points fixes, est divisé en 100, en 80 ou en 180 parties d'égale longueur suivant l'échelle adoptée. Or, quand il s'agit d'un thermomètre devant servir à des mesures de précision, il n'est pas permis de considérer le canal percé dans la tige comme rigoureusement cylindrique car, de fait, il ne l'est jamais. Il est donc nécessaire de mesurer expérimentalement la capacité du canal intérieur comprise entre deux divisions consécutives quelconques et cela chaque fois qu'on se sert de l'instrument. Cette opération, qu'on désigne sous le nom de *calibrage du thermomètre*, est extrêmement délicate et si précise que soient les procédés employés, quelle que soit l'habileté de l'opérateur, si l'on tient compte de la petitesse de la quantité à mesurer, on sera convaincu que les erreurs possibles sont relativement considérables.

*Déplacement du zéro dans les thermomètres de précision.* — On sait que sous l'influence de la chaleur, le verre subit des déformations qui entraînent toujours une variation assez considérable dans la capacité, soit du réservoir, soit du canal de la tige du thermomètre. Ces déformations sont fonction du temps et des états antérieurs par lesquels a passé

l'instrument ; elles ne sont d'ailleurs régies par aucune loi et l'erreur qui en résulte peut atteindre 2 degrés C.

*Correction d'intervalle fondamental.* — Puisque la chaleur a pour effet de faire varier d'une façon continue la capacité intérieure d'un thermomètre, la capacité comprise entre les deux points fixes varie également de sorte que toute lecture faite sur le thermomètre est entachée de cette erreur, d'où correction désignée généralement sous le nom de *correction d'intervalle fondamental*.

*Corrections de pression extérieure.* — On conçoit que l'effort permanent que la pression atmosphérique exerce sur toute la surface extérieure d'un thermomètre à mercure puisse faire varier sa capacité intérieure d'autant que le vide existe généralement dans la partie de la tige non occupée par le mercure. Cette variation de la capacité intérieure affecte évidemment les lectures et, de ce fait, il est encore nécessaire de corriger *toutes les mesures* faites avec l'instrument. Cette correction, extrêmement laborieuse, exige plus de quarante observations successives.

*Corrections de pression intérieure.* — Quand un thermomètre est observé dans la position verticale, les parois du réservoir et de la tige subissent, par le fait de la pesanteur du mercure, des pressions dirigées de l'intérieur à l'extérieur, ces pressions ont pour effet une augmentation de la capacité intérieure du système, d'où nouvelles corrections.

*Corrections provenant de ce que la tige du thermomètre ne peut pas toujours être immergée dans le milieu dont il s'agit d'évaluer la température.* — Nous avons vu précé-

demment que, lors de la détermination des points fixes, le thermomètre tout entier (réservoir et tige) est complètement immergé dans les milieux dont la température détermine ces points fixes. Pour se servir de ce thermomètre avec toute la précision désirable, il faudrait, chaque fois qu'on s'en sert, se placer dans les mêmes conditions que le constructeur, c'est-à-dire immerger complètement le thermomètre dans le milieu dont on veut évaluer la température. Or, dans la généralité des cas, il est complètement impossible de réaliser ces conditions et, cependant, le réservoir du thermomètre et sa tige se trouvent à des températures souvent fort différentes, de sorte que, pour l'expérimentateur consciencieux, la seule chance de salut est encore d'avoir recours aux fameuses corrections avec tout leur cortège d'incertitudes.

Les quelques corrections que nous venons de signaler ne constituent pas les seules critiques que l'on puisse adresser au thermomètre à mercure de précision. Les personnes qui désireraient avoir une idée exacte du nombre invraisemblable de corrections que doit subir chaque lecture de cet instrument peuvent consulter le Mémoire de M. Ch. Guillaume, du Bureau International des poids et mesures ou les *Thermometrische Arbeiten betreffend die Herstellung und Untersuchung der Quecksilber-Normalthermometer* du professeur J. Pernet.

D'ailleurs, deux thermomètres à mercure ne se suivent jamais d'une façon rigoureuse dans l'étendue de l'échelle thermométrique comprise entre les deux points fixes ; en d'autres termes, ils ne sont jamais comparables. La gran-



deur de discordance dépend, non seulement de la matière dont est formée l'enveloppe thermométrique, mais aussi de la façon dont cette enveloppe a été travaillée.

*Thermomètre à air dit thermomètre normal.* — Cet instrument destiné à corriger ou à atténuer les défauts du précédent n'est lui-même pas exempt de défauts.

On sait que ce thermomètre se réduit, à quelques perfectionnements près, à l'appareil employé par Regnault pour la détermination des coefficients de dilatation à volume constant des divers gaz.

Trois raisons principales ont motivé son choix, ce sont :

- 1<sup>o</sup> Que le coefficient moyen de dilatation des gaz est indépendant de la pression ;
- 2<sup>o</sup> Que le coefficient de dilatation de l'air est beaucoup plus considérable que celui du mercure ;
- 3<sup>o</sup> Que les thermomètres à gaz sont comparables entre eux.

Or, sur ces trois propositions qui servent de pierre fondamentale au thermomètre à air, la première et la troisième sont inexactes au su de tous les physiciens.

De plus dans l'équation fournie par l'observation de l'appareil et qui sert à calculer la température, il existe des coefficients dont la valeur est toujours incertaine.

En outre, pendant les mesures, non seulement la masse d'air chauffée n'est pas à une température uniforme : mais elle communique avec le manomètre au moyen de raccords qui peuvent fuir ou être déformés, cette déformation provoquant une variation du volume intérieur.

Enfin, le réservoir qui contient le gaz et qui est chauffé à des températures différentes ainsi que la tige qui fait communiquer le réservoir avec le manomètre, subissent des variations de température qui, à chaque mesure, font varier leur volume intérieur.

Sans insister davantage, on voit que la mesure de la température au moyen du thermomètre à air n'exige guère moins de corrections incertaines que les lectures fournies par le thermomètre à mercure.

### **Emploi du thermomètre à tension de vapeur saturée comme thermomètre de précision**

Cet appareil est basé sur le principe suivant déjà énoncé précédemment, à savoir :

*Que la tension d'une vapeur saturée est fonction seulement de sa température et est indépendante du volume qu'elle occupe.*

Voilà un principe qui a au moins le mérite de n'être contesté par personne, tandis qu'il n'en est pas de même des propositions fondamentales sur lesquelles reposent les thermomètres à dilatation, propositions qui toutes ont été reconnues inexactes.

Examinons les deux sortes de thermomètres, à dilatation et à tension de vapeur saturée au point de vue du nombre de corrections que leurs lectures doivent subir. Les principales corrections pour les thermomètres à dilatation sont les suivantes : *Correction de calibrage. Correction d'inter-*



*valle fondamentale. Correction de pression extérieure. Correction de pression intérieure.*

Ces quatre corrections extrêmement fastidieuses disparaissent radicalement par l'emploi du thermomètre à tension de vapeur saturée ; c'est une conséquence évidente du principe énoncé ci-dessus puisque toutes ces corrections sont motivées par une variation de capacité intérieure du thermomètre et que la tension d'une vapeur saturée est rigoureusement indépendante de ces variations de volume.

*Il est donc bien entendu que les variations de capacité, principales causes des innombrables corrections que doivent subir les lectures des thermomètres à dilatation, n'ont aucune influence sur les indications d'un thermomètre à tension de vapeur saturée.*

Le déplacement du zéro de ce dernier instrument ne peut donc pas être attribuable aux causes qui produisent le déplacement du zéro du thermomètre à dilatation ; ce déplacement ne peut se produire que sous l'influence d'une modification de l'élasticité du métal dont est formé le tube moteur, c'est-à-dire de l'acier ou bien encore par suite des déformations des organes qui actionnent l'aiguille indicatrice.

Quelles sont les causes qui peuvent faire varier cette élasticité ou provoquer ces déformations ?

La principale de ces causes réside dans les grandes variations de température auxquelles les pièces métalliques peuvent être soumises, c'est la raison pour laquelle les thermomètres métalliques à dilatation n'ont jamais pu fournir un résultat acceptable.

Cette cause n'existe pas dans l'appareil que nous proposons, puisqu'il est disposé de façon que le tube moteur n'est *jamais chauffé et ne subit que les variations de la température atmosphérique ambiante*, le réservoir qui termine l'extrémité du petit tube flexible devant seul être plongé dans le milieu dont on veut évaluer la température.

En second lieu, on peut craindre que les mouvements d'extension ou de contraction du tube moteur provoquent une altération dans son élasticité. Effectivement, on constate cette altération quand on opère avec un tube n'ayant jamais servi ; mais si, avant de graduer l'instrument, on a soin de faire travailler ce tube pendant un temps convenable et à une température notablement supérieure à la température la plus élevée qu'il doit indiquer en activité de service, on ne constate plus aucune altération sensible dans l'élasticité du tube (observations d'une durée de cinq mois sur l'enregistreur décrit ci-après).

La lecture d'une température faite sur le thermomètre à tension de vapeur saturée ne comportera, dans la généralité des cas, que deux corrections faciles à effectuer :

1<sup>o</sup> L'erreur de lecture provenant des variations de la pression atmosphérique, variations qui ont pour effet de faire fermer ou ouvrir le tube moteur suivant qu'elles sont positives ou négatives.

2<sup>o</sup> L'erreur de lecture, également positive ou négative provenant de la pression qu'exerce à l'intérieur du tube moteur la colonne liquide contenue dans le tube flexible suivant la position du nouveau liquide dans le réservoir sensible par

rapport au plan horizontal contenant ce niveau pendant la graduation de l'appareil ou par rapport à tout autre plan de repère déterminé.

Ces deux corrections se réduisent à l'observation du baromètre et à la mesure d'une différence de niveau ; les appareils sont d'ailleurs disposés de façon à obtenir rapidement la lecture corrigée de ces deux erreurs.

*Comparabilité des thermomètres à tension de vapeur saturée.* — S'il est vrai que la loi des tensions de vapeur saturée énoncée ci-dessus est rigoureusement exacte, deux thermomètres à tension de vapeur saturée doivent être comparables entre eux, car la non-comparabilité des thermomètres à dilatation provient surtout de ce que les propositions fondamentales qui leur servent de base ne sont pas rigoureusement exactes.

*Sensibilité des thermomètres à tension de vapeur saturée.* — On a vu qu'une des principales raisons du choix du thermomètre à air comme thermomètre étalon, est la grande dilatabilité de l'air par rapport à celle du mercure. Or, si l'on veut bien se reporter à ce qui a été dit au commencement de cette notice sur la sensibilité relative des thermomètres à dilatation et des thermomètres à tension de vapeur saturée, on se convaincra que la sensibilité d'un thermomètre à tension de vapeur saturée est incomparablement plus grande que celle d'un thermomètre à gaz dont la sensibilité diminue d'ailleurs avec la température, tandis que celle du thermomètre à tension de vapeur saturée augmente rapidement dans les mêmes conditions.

Ainsi, en examinant les deux graphiques représentés en vraie grandeur (fig. 4 et 5) (tels qu'ils résultent de la graduation par comparaison du thermomètre enregistreur décrit ci-après), on voit que l'intervalle correspondant à un degré est sensiblement cinq fois plus grand à 44 degrés qu'à 5 degrés au-dessous de zéro.

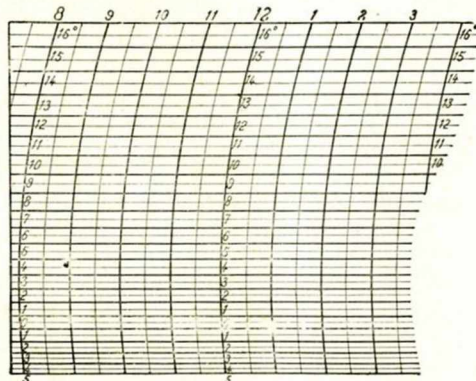
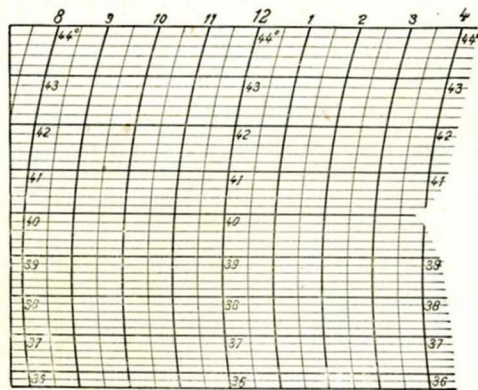


Fig. 4 et 5

## Disposition pratique des thermomètres à tension de vapeur saturée

Les mouvements de l'organe qui a été décrit au commencement de cette notice peuvent être traduits pratiquement sur un cadran comme l'indique la figure 6 ou sur un cylindre tournant *o* figure 7. Dans le premier cas, on a un thermomètre ou un pyromètre à cadran et, dans le second, un thermomètre ou un pyromètre enregistreur.

*Thermomètres et pyromètres à cadran.* — Dans l'appareil à cadran représenté par la figure 6, l'extrémité du tube moteur *a* est fixée d'une façon invariable sur le fond non déformable d'une boîte métallique tandis que les mouvements de l'extrémité libre sont transmis par une bielle *p* à un levier *q*, monté sur un pivot fixe et dont le grand bras, de longueur réglable porte un secteur denté *s*, qui engrène avec un pignon *t*, solidaire de l'aiguille *u*.

La pièce sur laquelle est monté le pivot de l'aiguille et le secteur sont fixés invariablement sur le même fond que l'extrémité fixe *e* du tube moteur, afin d'éviter tout déplacement relatif de ces pièces.

Le tube flexible *e ds* qui peut avoir la longueur que l'on désire : 10, 50, 100 mètres, etc., traverse le côté latéral de la boîte. Dans le cas de la figure 6, il se ter-

mine par une ampoule *s* ayant la grosseur et la forme d'un œuf de petit oiseau. Cette ampoule est la seule

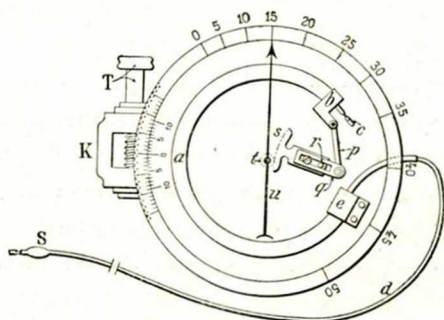


Fig. 6

partie du système qui soit pratiquement sensible à la chaleur. L'aiguille de l'appareil ne fait qu'un léger mouvement, puis revient rigoureusement à sa position primitive, quand, après avoir préalablement enroulé le tube flexible en un faisceau de spirales, on le plonge tout entier dans un bain ayant une température comprise entre les deux limites extrêmes de température entre lesquelles doit fonctionner l'appareil, l'ampoule restant, dans cette expérience, à température constante. L'aiguille ne se met en marche que si cette ampoule est elle-même plongée dans le bain. On conçoit dès lors que l'on puisse, sans sortir du coin du feu, lire et enregistrer, si on le désire, la température qui existe au fond de son jardin, quelque profond qu'il soit.

*Graduation.* — La graduation de l'appareil paraît très pénible parce que les divisions ne sont pas équidistantes. Elle devient cependant tout à fait simple et absolument rigoureuse si l'on a à sa disposition un bon thermo-régulateur capable de maintenir, à une température constante, une grande masse de liquide.

C'est ainsi que, avec un nouveau thermo-régulateur de notre système basé sur le même principe que les thermomètres qui nous occupent et assurant la constance de la température à  $1/20$  de degré près, nous avons pu facilement graduer ces appareils, par comparaison avec un thermomètre étalon, non seulement de degré en degré, mais de  $1/5$  en  $1/5$  de degré.

Cette graduation ainsi effectuée sur un cadran de dimensions données et pour un intervalle de température déterminé, permet la graduation rapide, sans interpolation d'un thermomètre dont le cadran a des dimensions quelconques, lors même que le tube moteur ne posséderait pas le même coefficient d'élasticité que son étalon. Si, en effet, on considère que l'élongation de l'extrémité libre du tube est proportionnelle à la pression on voit qu'il suffira de déterminer expérimentalement deux points, les points  $0^\circ$  et  $25$  degrés par exemple sur le nouveau cadran, puis, avec un rayon correspondant à l'arc de cercle qui passe par ces deux points, de décrire un cercle ayant pour centre le centre de rotation  $t$  de l'aiguille de l'étalon figure 6. L'arc de ce cercle compris entre les rayons  $t\ 0^\circ$ ,  $t\ 25$  degrés représentera l'intervalle de température  $0^\circ$ - $25$  degrés relatif au nouveau cadran. Il suffira

ensuite de joindre au centre les divisions intermédiaires de l'étalon, les intersections de ces rayons avec l'arc de cercle précédent représenteront les divisions intermédiaires du cadran à graduer.

*Emploi de l'appareil dans les recherches scientifiques.* — Le degré de précision que l'on demande dans l'industrie n'exige pas, en général, les deux corrections dont il a été question précédemment, mais il est nécessaire de les faire quand l'instrument est employé comme thermomètre de précision.

Qu'il s'agisse de corriger les effets de pression provenant de la différence de niveau existant entre le niveau du liquide dans l'ampoule et le plan de repère dont nous avons parlé, ces corrections sont faites d'après le même principe, à savoir : *que les elongations de l'extrémité libre du tube moteur sont proportionnelles aux pressions* (il n'y a qu'à examiner la graduation d'un bon manomètre métallique pour avoir une idée de l'exactitude de ce principe).

En conséquence, l'ampoule sensible étant maintenue à une température invariable, il suffira :

— 1° De déterminer le déplacement  $\epsilon$  de l'aiguille correspondant à une différence de niveau de 1 mètre par exemple ; si  $d$  désigne la densité du liquide dans le tube moteur et dans le tube flexible dans les conditions de l'expérience, la pression par centimètre carré évaluée en grammes, que la colonne liquide de 1 mètre exerce sur les parois du tube moteur, est égale à  $100 d$  et le déplacement de l'aiguille, correspondant

à 1 gramme, égal à  $\frac{\epsilon}{100 d}$ .



2° L'appareil étant placé dans une boîte étanche et l'ampoule *s* toujours maintenue à une température variable, de faire varier la pression dans cette boîte de 10 centimètres de mercure par exemple : si  $\varepsilon'$  représente le déplacement correspondant de l'aiguille, le déplacement correspondant à une variation de 1 gramme dans la pression atmosphérique sera  $\frac{\varepsilon'}{10 \times d}$  *d*' représentant la densité du mercure corrigée suivant les conditions de l'expérience.

Les expressions :  $\frac{\varepsilon}{100. d}$  et  $\frac{\varepsilon'}{10. d'}$  sont deux constantes de l'appareil qui doivent être déterminées par le constructeur et inscrites sur l'instrument.

Pour fixer les idées, supposons qu'au moment d'une lecture faite sur l'instrument, la différence de niveau soit équivalente à une pression de *n* grammes et que la variation de la pression atmosphérique par rapport à sa valeur normale soit de *n'* grammes, le déplacement que devra subir l'aiguille sera donné en grandeur et en signe par l'expression :

$$\frac{n \varepsilon}{100 d} + \frac{n' \varepsilon'}{10. d'}$$

Au lieu de déplacer l'aiguille de la quantité numérique indiquée par cette expression, c'est le cadran que l'on fait tourner dans le sens convenable de la même quantité de façon à ramener sous la pointe de l'aiguille la division du cadran qui correspond à la lecture exacte.

A cet effet, le limbe qui porte les divisions thermiques est

muni d'un vernier qui se déplace, quand on fait tourner le cadran, en regard d'une seconde graduation pratiquée sur un disque métallique fixé invariablement sur le fond de la boîte de l'instrument.

La rotation du limbe s'obtient au moyen d'une vis tangente T dont la chape K est fixée invariablement à la pièce qui supporte le tube moteur. Sachant à quelle pression correspond l'intervalle de deux traits consécutifs de la division, il sera facile d'obtenir la température corrigée. Dans le thermomètre enregistreur décrit ci-après (fig. 7) la correction se fait de la même manière. Sur le cylindre O, actionné par le mouvement d'horlogerie, peut glisser longitudinalement un autre cylindre O, muni à sa partie supérieure d'une pièce MN que traverse une vis W dont l'extrémité inférieure peut tourner dans un collier qui ne lui permet aucun mouvement longitudinal. Une graduation GH munie d'un vernier R permet d'amener, par rotation de la vis W, la division corrigée sous la pointe du style inscripteur.

En profitant de la particularité que présente l'appareil d'indiquer ou d'enregistrer la température à distance, on peut, dans les mesures de précision, éviter pour ainsi dire toutes corrections et principalement les corrections dues aux variations de la pression et de la température extérieure.

Pour cela, on place l'appareil dans une boîte dont l'une des faces porte une glace en verre permettant les lectures. On fixe cette boîte dans un bain d'eau chauffé au gaz à l'aide d'un thermo-régulateur à tension de vapeur saturée qui maintient sa température constante à moins de  $1/15$  de degré près

(cette température étant celle de la graduation de l'appareil), puis, au moyen d'une petite provision d'air comprimé que l'on obtient soi-même avec une pompe à main et d'un régulateur de pression, on maintient la pression constante et égale à la pression de graduation dans la boîte à  $\frac{1}{10000}$  près de sa valeur.

*Thermomètre et pyromètre enregistreur à tension de vapeur saturée.* — Dans cet appareil (fig. 7), le tube moteur *a* peut comporter plusieurs spires comme l'indique la figure, les déplacements de son extrémité libre *b* sont transmis au stylet inscripteur *u* par l'intermédiaire d'une bielle *p*, d'un levier *q* (vu par bout), d'un autre levier *q'* et d'une autre bielle *p'*. Un mouvement

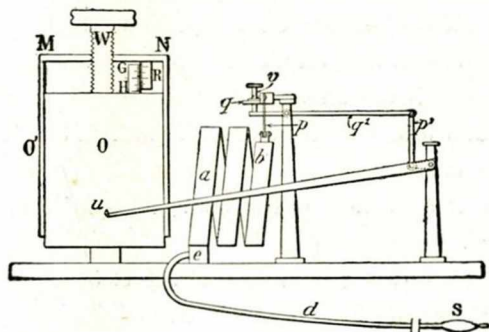


Fig. 7

d'horlogerie placé à l'intérieur du cylindre O et non visible sur la figure assure la rotation uniforme du sys-

tème de cylindre O et O'. Sur la surface latérale du cylindre O on enroule le graphique préalablement gradué dans l'intervalle des températures que l'on désire mesurer.

Les figures 4 et 5 représentent, aux  $\frac{5}{8}$  de leur grandeur, deux graphiques (l'un de  $-5$  à  $+16$  degrés, l'autre de  $36$  à  $44$  degrés) se rapportant à ce modèle d'appareils. Dans ces graphiques les traits rectilignes et horizontaux représentent les degrés et fractions de degré, tandis que les intervalles compris entre les arcs de cercle dirigés dans le sens vertical représentent les heures et fractions d'heures, ce sont les courbes horaires. L'intersection de ces deux groupes de lignes avec la courbe tracée par le stylet permettra donc de connaître, à loisir, la température à un instant quelconque de la journée ou de la nuit. De plus, si l'on remarque, comme on l'a fait pour le thermomètre à cadran décrit ci-dessous, que le tube flexible *ed S* peut avoir une longueur illimitée, on pourra, tout en laissant le corps de l'appareil sur sa cheminée, enregistrer la température à 100, 500, 1.000 mètres, etc., de distance.

L'examen des graphiques (fig. 4 et 5) montre l'extrême et presque invraisemblable sensibilité du système. L'intervalle  $36-44$  degrés mesure plus de 80 millimètres de hauteur, lors même que l'appareil auquel se rapportent ces graphiques a les dimensions d'un petit manomètre enregistreur.

Ces graphiques montrent, en outre, que la sensibilité augmente rapidement avec la température puisque l'intervalle 43-44 degrés est environ cinq fois plus grand que l'intervalle (5-4) degrés au-dessous de zéro).

Sans qu'il soit nécessaire de changer les dimensions de ses organes, le modèle qui nous occupe peut enregistrer la température depuis 30 degrés au-dessous de zéro jusqu'à + 60 degrés, c'est-à-dire dans un intervalle de 90 degrés. Le cylindre qui permettrait d'inscrire ces températures en utilisant toute la sensibilité de l'instrument devrait avoir 58 centimètres de hauteur. Au lieu d'avoir un cylindre si long il est préférable, tout en respectant la sensibilité du système, d'employer un petit cylindre de façon que les graphiques gradués dans les limites des températures qui intéressent aient de 0 à 10 ou à 20 centimètres de hauteur.

La vis de réglage  $\nu$  (fig. 7) permet au constructeur muni d'un thermomètre étalon et du thermo-régulateur de notre système de régler une fois pour toutes les indications du stylet inscripteur.

L'intervalle de température dont nous venons de parler, pour donner un exemple de la sensibilité de l'appareil pourrait faire supposer que cet instrument ne s'applique qu'à la mesure des basses et moyennes températures.

Les limites de fonctionnement ne sont fixées que par la température de fusion de la matière dont est formé le réservoir sensible.

**Application des thermomètres précédents à la mesure des hautes températures dans la grande Métallurgie : Hauts Fourneaux, Cubilots, Creusets, etc. Préparation des aciers et des alliages. Industrie sucrière.**

On conçoit facilement que, dans ces applications, la sensibilité et la disposition des thermomètres restent les mêmes et qu'il n'y ait que le réservoir sensible à modifier.

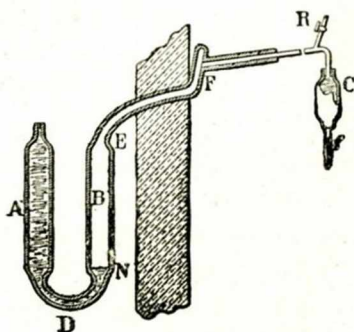


Fig. 8.

Ce réservoir est constitué par deux tubes A et B (fig. 8) de porcelaine ou autre matière réfractaire, de capacités convenablement calculées et communiquant entre eux par un tube D de petit diamètre intérieur. La partie supérieure E F du tube B est inclinée et porte une tubu-

lure F C de faible diamètre intérieur ; cette tubulure, pouvant être en porcelaine, en nickel ou en fer, débouche à la partie supérieure d'une cuvette C remplie de mercure ou du liquide inerte qui remplit le tube moteur et le tube flexible du thermomètre. Pour charger ce réservoir, le tube F C étant détaché de la cuvette C, on coule dans le tube A et dans la tubulure D, jusqu'au niveau N, un métal dont le point de fusion est plus ou moins élevé suivant les températures que l'appareil doit indiquer, puis, l'extrémité C du tube F C étant raccordée à la cuvette C, on introduit dans la partie N B E F C, par le robinet L, un gaz tel que de l'azote, de l'hydrogène ou même de l'air sous une pression convenable.

Pour fixer les idées, supposons qu'il s'agisse d'évaluer des températures voisines de 1.200 ou 1.300 degrés, le métal contenu dans la branche A étant de l'argent, on placera l'appareil dans le haut fourneau ou dans le cubilot où se trouve le métal à chauffer, comme l'indique la figure 8, la partie supérieure inclinée du tube B traversant la paroi du haut fourneau. L'argent fondant à 1.050 degrés C. environ se vaporisera au-dessus de cette température, de sorte que, si l'on considère que la tension de la vapeur d'argent dans le tube N B E F est régie par le principe de Watt (paroi froide), la tension de la vapeur saturée d'argent dans le tube gauche A produira une dénivellation de l'argent fondu qui comprimera le gaz contenu dans la capacité N B E F C.

Si, de plus, on veut bien se rappeler la loi des ten-



sions des vapeurs saturées, on verra que tout se passe comme si la tension de la vapeur saturée d'argent agissait directement sur un liquide incompressible au lieu d'agir sur une colonne gazeuse et que l'appareil, ne perdant aucune de ses qualités, permet d'indiquer avec autant de précision une température de 1.300 ou 1.500 degrés qu'une température de 40 degrés.

Bien entendu que, pour toutes les applications où la température ne dépasse pas 1.100, on peut remplacer la porcelaine par le fer ou par le nickel.





ULTIMHEAT®  
VIRTUAL MUSEUM

