

une contribution sérieuse à la théorie des enveloppes épaisses qui permettra de calculer avec certitude les tubes devant résister à très haute pression et d'entamer ensuite sur cette base certaine une étude de frettage de tubes.

Appareillage de recherche. — Le tube à essayer est soumis à une pression intérieure croissante obtenue par compression d'huile au moyen d'une pompe primaire à 800 kg/cm² et d'un cylindre à piston différentiel. L'augmentation de volume résultant du gonflement se mesure en introduisant le tube en essai dans un second tube de diamètre double, le tout formant un système étanche.

Le remplissage du tube extérieur se fait par une ouverture ménagée dans le tube extérieur et l'étanchéité est réalisée grâce aux deux rondelles en caoutchouc; un joint mobile permet la fermeture du tube extérieur à une extrémité. L'espace annulaire rempli d'huile est en connexion avec un appareil de mesure de volume suffisamment précis ($\pm 0,05$ cm³). Cette mesure s'effectue par la lecture du niveau d'huile dans une burette graduée jusqu'à 100 cm³. Le remplissage de cet appareil est réalisé par les deux arrivées d'huile. Les robinets permettent le réglage du niveau d'huile dans la burette (photographie 5).

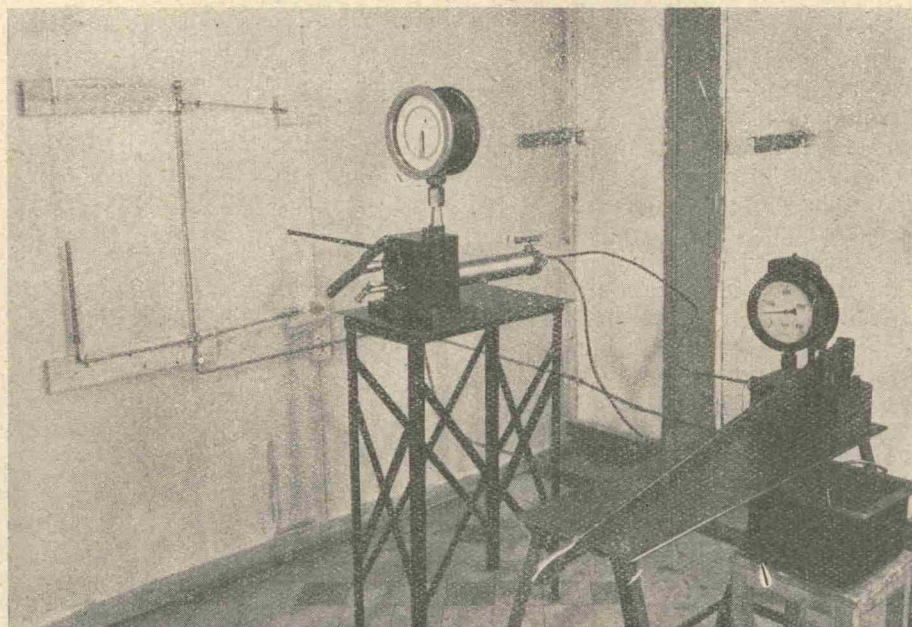


Fig. 5.

Le volume de l'huile augmente de 0,4 cm³ pour une élévation de température de 1 degré. Il est donc nécessaire de thermostatiser la salle aussi bien que possible et d'effectuer les corrections nécessaires aux lectures du volume. Cette variation a une grande importance relative dans la région du domaine élastique, l'erreur pouvant dans ce cas atteindre 1/200^e.

Nous n'avons pas tenu compte des effets dus à l'échauffement de l'huile lors de la compression, ceux-ci étant négligables, vis-à-vis des autres causes d'erreurs.

A chaque instant on peut suivre l'augmentation du gonflement en fonction de l'élévation de pression et ce jusqu'à l'éclatement. Si chaque lecture s'effectue à l'équilibre parfait, on pourra tracer un diagramme ayant une signification physique simple. La lecture des pressions s'effectue au manomètre Bourdon.

Nous n'avons, jusqu'à présent tiré aucune conclusion des observations faites sur le gonflement qui obéit à une loi complexe due aux effets superposés de la pression interne, et des tensions radiales et tangentielles du tube. On a simplement observé que le tube gonfle d'abord uniformément sur toute sa longueur, puis éclate à l'endroit de moindre résistance.

Par contre, les graphiques obtenus en portant en ordonnée la pression agissant à l'intérieur du tube et en abscisse la valeur du gonflement, montrent que la courbe obtenue de cette façon correspond exactement à la courbe des $\frac{\text{efforts}}{\text{allongements}}$ obtenus à partir de l'étude d'un acier en traction simple.

Nos études ne sont pas suffisamment avancées pour que nous puissions en tirer dès à présent des conclusions quelconques, mais il est certain que

ce premier résultat nous incite à espérer beaucoup de la suite de ces travaux, ainsi que nous l'ont montré les premières études théoriques de la question, études faites en relation avec nos résultats expérimentaux par M. Goldschmidt et par M. Sariban, tous deux assistants à l'Université Libre de Bruxelles.

b. Hystérésis des tubes manométriques. — L'étude de l'hystérésis que présentent les tubes pour manomètres mécaniques du type Bourdon est également poursuivie dans cette section : cette étude, qui en est à ses débuts, a déjà permis de définir quelles qualités d'acier conviennent le mieux pour ces manomètres d'usage courant.

A. On sait que les membranes et tubes manométriques utilisés comme système de détection de la pression présentent des phénomènes d'hystérésis extrêmement marqués qu'il est difficile d'éliminer même si le manomètre a subi de nombreuses mises sous pression en vue de le vieillir. Ce phénomène peut être défini comme suit : si l'on observe les indications d'un manomètre nouvellement fabriqué par rapport à celles données par une balance manométrique, on s'aperçoit que lors de la montée de la pression, les indications du manomètre sont entachées d'une erreur par défaut, présentant un maximum vers le milieu de l'échelle et que lors de la descente, ces indications présentent une erreur par excès (hystérésis totale). Si l'on vieillit le tube manométrique par un traitement thermique ou par mises sous pressions successives en augmentant la pression jusqu'à une valeur maximum supérieure d'environ 50 pour 100 à la valeur maximum normale d'utilisation, on s'aperçoit que ces erreurs diminuent sans toutefois s'annuler complètement.

B. A cette première cause d'erreur s'en ajoute une seconde qui échappe souvent aux utilisateurs, du fait de la construction même des manomètres : celle-ci est due à ce que l'aiguille du manomètre revient après un temps plus ou moins long de repos à une position inférieure à sa position de zéro ; cette variation se produit même avec des manomètres parfaitement vieillis. Elle est difficile à déceler, l'aiguille étant généralement arrêtée à la position du zéro (hystérésis négative du zéro).

C. En troisième lieu, la valeur du zéro varie avec le temps et le nombre des mises sous pression : cette variation se fait dans le sens positif c'est-à-dire que l'aiguille du manomètre ne revient pas à zéro, alors que la pression est redescendue à la pression atmosphérique (hystérésis du zéro). Cette variation du zéro se produit principalement lorsque le manomètre n'a pas été suffisamment vieilli ou quand, par suite d'une erreur de manœuvre, le manomètre a été soumis à une pression trop élevée : il semble donc plus facile de s'y soustraire.

Programme des recherches. — Les méthodes utilisées actuellement tant au cours du vieillissement des manomètres que de remises à zéro, sont des méthodes purement empiriques, uniquement basées sur des données qualitatives, observées pour chaque type de tube ou de membrane manométrique.

Il convenait d'étudier systématiquement le problème, aussi le programme suivant a-t-il été adopté :

Un premier travail de dépouillement du problème sur les types habituels de membranes et de tubes manométriques a été entamé. Ce travail consiste à définir exactement les différents phénomènes d'hystérésis en fonction du nombre des mises sous pression, du temps de mise en charge, du temps de mise sous pression, du temps de repos. Les pressions réelles sont données par une balance manométrique et éventuellement par des manomètres étalons fréquemment vérifiés.

Devant la complexité du problème nous avons divisé le travail en deux parties :

- 1° étude de la variation du zéro ;
- 2° étude de l'hystérésis elle-même.

Au cours de la première partie des recherches, nous nous sommes limités à étudier la stabilité du zéro (détermination de la variation globale du zéro) de différents tubes en fonction des variables suivantes :

- 1° la composition de l'acier du tube manométrique ;
- 2° son recuit ;
- 3° le nombre de mises sous pression, c'est-à-dire le vieillissement du tube ;
- 4° la valeur de la pression maximum atteinte ;
- 5° le temps de repos après une mise en charge (15 mn) ;
- 6° la durée de mise sous pression (5 mn).

Nos premiers essais ont porté sur des tubes en acier de trois types différents de la Compagnie des Compteurs et Manomètres de Liège, les revenus étant pour chacun d'eux de 250, 350 et 450° :

- 1° acier inoxydable ;
- 2° acier au Cr-Ni-Mo ;
- 3° acier à ressort Si-Mn.

Afin de simplifier la question, nous avons fixé à 5 mn la durée de mise sous pression, et nous avons constaté qu'après 15 mn de repos à la pression atmosphérique, le zéro était complètement stabilisé. Pour un tube en acier dont la composition et le recuit sont définis, les variables se réduisent donc à deux, dont la détermination est d'ailleurs liée : d'une part, le nombre de mises sous pression, d'autre part, la valeur de la pression maximum atteinte.

Les mesures furent effectuées par tranches de 100 kg : cm² jusqu'au point de rupture et leur