

Le coefficient de compressibilité, χ , est calculé à partir des mesures des variations relatives de volume $|\Delta V/V|_{\text{téflon}}$ en fonction de la pression hydrostatique appliquée, P , représentées sur la figure 5.

$$\chi = -\frac{1}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial P}$$

Nous avons déterminé $|\Delta V/V|_{\text{téflon}}$ par une méthode différentielle, consistant à mesurer, pour différentes pressions, la variation de volume, ΔV , d'un ensemble : liquide de compressibilité connue + téflon.

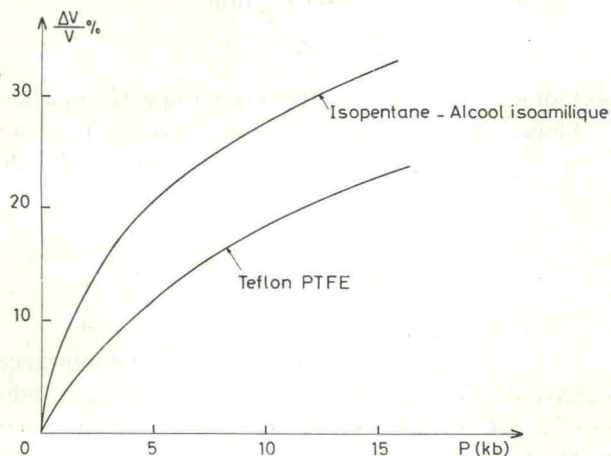


FIG. 5. — Variations de volume en fonction de la pression du téflon et du mélange de rapport 1 : 1 isopentane alcool isoamilique.

Le module d'Young du téflon, E , a été déduit de l'enregistrement de la courbe : effort-déformation, effectué dans le domaine élastique du téflon, sur une éprouvette cylindrique soumise à un effort de compression simple. Les calculs donnent :

$$\chi_0^{\text{1kbar}} = 3,5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{N}; \quad E = 4,5 \times 10^4 \text{ N/cm}^2$$

d'où $\nu = 0,47$.

Ces valeurs de E et ν sont sensiblement celles données par les constructeurs, compte tenu des dispersions dues à la nature du matériau.

Cette remarque nous permet de considérer que l'ensemble liquide + téflon se comporte, devant les efforts appliqués, comme deux liquides de compressibilités respectives χ_1 et χ_2 . L'expérience nous ayant par ailleurs montré que la cellule en téflon retrouve très exactement ses dimensions d'origine après un cycle de pression, il semble légitime, compte tenu des hypothèses simplificatrices adoptées, de supposer négligeables la variation de D_1 sous l'effet de F . S'il n'en était pas ainsi, la cellule, compte tenu de la très faible résistance en compression pure du téflon, n'aurait certainement pas manqué de se détruire. L'équilibre de l'ensemble impose que :

$$F = F_1 + F_2 \quad (1)$$

où F_1 et F_2 sont les efforts exercés respectivement sur le liquide et la section annulaire de la cellule en téflon.

Pour résoudre ce système hyperstatique, écrivons que, sous l'effet de F , la déformation de l'ensemble doit satisfaire à la condition :

$$\Delta l_1 = \Delta l_2 \quad (2)$$

avec

$$\Delta l_1 = \chi_1 \cdot \frac{F_1 l_1}{S_1} \quad \text{et} \quad \Delta l_2 = \chi_2 \frac{F_2 l_2}{S_2}$$

La résolution de (1) et (2) donne :

$$F_1 = \frac{F}{1 + \frac{\chi_1 S_2 l_1}{\chi_2 S_1 l_2}} \quad F_2 = \frac{F}{1 + \frac{\chi_2 S_1 l_2}{\chi_1 S_2 l_1}}$$

d'où les valeurs respectives des pressions dans le fluide et au contact téflon-piston, téflon-obturateur

$$P_1 = \frac{F_1}{S_1} \quad \text{et} \quad P_2 = \frac{F_2}{S_2}$$

Ces relations montrent que la pression P_2 , entre téflon et respectivement obturateur et piston est proportionnelle à F , ce qui prouve, à la condition que l'ensemble soit étanche au départ : $P_2 > P_1$, que le système fonctionne en joint automatique.

On voit également très bien apparaître l'influence relative des facteurs géométriques : S_2/S_1 , l_1/l_2 et physiques χ_1/χ_2 de la cellule et de son contenu.

Avec nos conditions expérimentales

$$\frac{\chi_1}{\chi_2} = \frac{8,5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{N}}{3,5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{N}}$$

(compressibilités moyennes entre 0 et 1 kbar)

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{42 \text{ mm}^2}{113 \text{ mm}^2}; \quad \frac{l_1}{l_2} = \frac{16 \text{ mm}}{24 \text{ mm}}$$

et en supposant que $F = 10^4 \text{ N}$.

On trouve :

$$P_1 = 55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{et} \quad P_2 = 89 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

et on vérifie bien que les conditions d'étanchéité sont satisfaites : $P_2 > P_1$.

Les expressions donnant F_1 et F_2 montrent également la marche à suivre pour optimiser les cellules téflon, c'est-à-dire obtenir un coefficient d'efficacité qui soit le plus proche de l'unité tout en satisfaisant, bien entendu, aux conditions d'étanchéité. Nous reprendrons ce point après avoir discuté des facteurs correctifs, relatifs à l'influence du fond en téflon et des frottements cellule-parois, dont on peut tenir compte qualitativement.

La présence du fond en téflon, représenté sur la figure 6, agit comme si le fluide comprimé était un

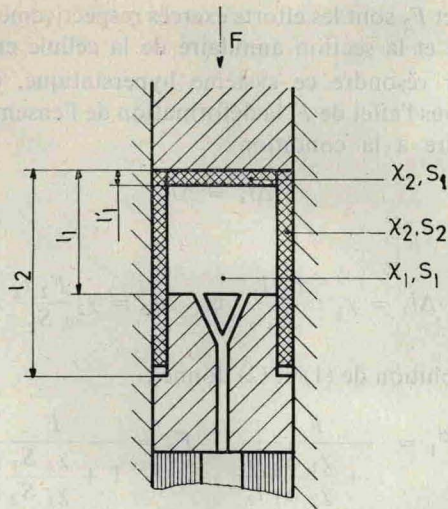


FIG. 6. — Cellule téflon : influence du fond.

ensemble de deux systèmes élastiques de coefficient de compressibilité moyen, χ , défini par l'expression

$$\chi = \chi(\text{liquide} + \text{téflon}) = \chi_1 \left\{ 1 + \frac{l_1 \{ \chi_2 - \chi_1 \}}{l_1 \chi_1} \right\}$$

dans nos conditions expérimentales $l_1' = 3 \text{ mm}$: on trouve

$$\bar{\chi}_0^{\text{lkbar}} = 7,6 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{N}.$$

Les expressions de F_1 et F_2 précédentes deviennent :

$$F_1 = \frac{F}{1 + \frac{\chi S_2 l_1}{\chi_2 S_1 l_2}} \quad F_2 = \frac{F}{1 + \frac{\chi_2 S_1 l_2}{\chi S_2 l_1}}$$

D'où

$$P_1 = \frac{F_1}{S_1} = 57,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

et

$$P_2 = \frac{F_2}{S_2} = 84 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

C'est l'expérience qui nous a suggéré que le fond n'intervenait, dans l'étanchéité de l'ensemble, qu'au moment de la mise en place de la cellule, et qu'il n'y participait, vraisemblablement pas, au cours de la montée en pression. Dès que la différence des pressions $P_2 - P_1$ excède largement la résistance au cisaillement du téflon un cisaillement doit se produire dans le fond de la cellule.

Cet effet a été observé à très haute pression, mais n'altère pas l'étanchéité de la cellule.

Nous avons en effet constaté, après chaque démontage, qu'il est cisailé au droit de S_1 , ce qui se comprend si on considère que la cellule, au droit de cette section, est soumise, d'après notre modèle, à une très importante discontinuité de contraintes.

Quant aux frottements entre cellule téflon et parois

en acier, ils ont pour effet de créer entre les sections haute et basse du cylindre téflon un gradient de pression. Ainsi l'effort de contact cellule-parois au niveau de l'obturateur est inférieur à celui calculé d'une quantité justement égale à la valeur de ces frottements. Il semble difficile d'en donner une estimation numérique, même approximative de par la méconnaissance des coefficients du frottement qui, sous ces pressions de contact, sont certainement assez éloignés des frottements de Coulomb.

On peut seulement dire que, pour la partie l_1 , soumise directement à la pression du liquide, les efforts de frottement sont donnés par la relation :

$$f = \mu \cdot \pi D_2 \cdot l_1 \cdot P_1$$

μ étant le coefficient de frottement statique téflon-acier.

Alors que, pour la partie $|l_2 - l_1|$ les considérations d'équilibre montrent que l'on doit avoir une loi du type :

$$F = \pi \frac{D_2^2 - D_1^2}{4} \cdot P_0 \cdot \exp \left| - \frac{4}{D_2 - D_1} \mu (l_2 - l_1) \right|$$

P_0 étant la pression qui existe à $l_2 - l_1 = 0$.

Il faut aussi remarquer que, d'une part, l'importance relative des frottements décroît lorsque, toutes conditions expérimentales restant égales par ailleurs, le diamètre de la chambre augmente et que, d'autre part, pour une même valeur du rapport l_2/l_1 , l'étanchéité de la cellule n'est certainement plus assurée pour une cellule très longue par le fait que l'effort de frottement augmente avec la longueur de la cellule ce qui diminue d'autant la valeur de la pression de contact cellule-obturateur.

Dans nos conditions expérimentales, l'efficacité de l'ensemble, qui, en plus des facteurs physiques et géométriques de la cellule et de son contenu, tient compte de l'effort de frottement cellule-parois ainsi que des frottements dus au joint Bridgman du 1^{er} étage, est voisin de 80 % pour $P = 30 \text{ kbar}$.

L'intérêt d'une optimisation des cellules téflon est lié, en premier lieu, aux caractéristiques mécaniques du piston, qui, au voisinage du congé de raccordement entre S_1 et S_{II} , est soumis à des concentrations de contraintes importantes malgré tout le soin apporté à sa réalisation. D'après les relations donnant F_1 et F_2 , on voit que la manière pratique la plus simple pour accroître η serait d'augmenter l_1/l_2 de façon à assurer P_2 minimum pour que la cellule soit étanche. Le rapport χ_1/χ_2 est fonction du domaine expérimental qui, sous ces pressions, impose, d'une part l'emploi du mélange isopentane alcool-isoamilique et, d'autre part, un matériau qui possède des constantes élastiques voisines de celles du téflon PTFE utilisé lorsque ce mélange est comprimé.

Il est également difficile de diminuer, dans des proportions importantes, l'épaisseur des parois pour des raisons d'usinage et surtout de facilité de mise en place de l'ensemble dans la chambre compte tenu du léger