

balance manométrique. La force totale sur le piston sera donnée par  $f = (P \times S) + F$ .

Désignons le frottement par  $k\varphi_0$  et la force de réaction par R.

Trois cas peuvent alors se présenter :

1° Si  $f = 0$ ; R = 0;

2° Si  $0 < |f| < f_0$ ; R =  $-f$ . Cette force de réaction maintient le piston dans une position de faux équilibre;

3° Si  $|f| \geq f_0$ ; R =  $-f_0 = k\varphi_0$ . Il s'introduit une force de frottement qui n'est toutefois pas fixe puisque  $\varphi_0$  n'est pas constant et  $k$  varie d'un point à l'autre de la surface.

b. *Sensibilité*. — Le piston soumis à une force  $f$  ne se déplacera pas aussi longtemps que  $f$  est donné par  $f < |f_0|$ , c'est-à-dire une valeur de  $f$  comprise entre  $+|f_0|$  et  $-|f_0|$ .

Dans le cas le plus défavorable, l'excédent de pression qu'il faudra pour déplacer le piston sera donné par :

$$\Delta P = \frac{2|f_0|}{S}$$

à laquelle il correspond une différence en poids de  $\Delta G = 2|f_0|$ .

Ce poids minimum nécessaire pour obtenir un déplacement du piston, définit la *sensibilité* de la balance manométrique. Notons encore que sa mesure nécessite l'emploi d'un système de repérage d'équilibre lequel à son tour introduit une erreur de mesure. Nous reviendrons sur ce point, en traitant du dispositif de repérage d'équilibre.

c. *Reproductibilité*. — L'erreur introduite dans les mesures par suite des frottements solides est associée à la notion de reproductibilité. On pourrait songer à déterminer expérimentalement la variation du frottement  $R_0$  et voir quelle est la dispersion des résultats pour une grande série de mesures. Pour ce, il suffit de mesurer plusieurs fois une même pression bien fixe à la balance manométrique. La dispersion des résultats est imputable à la variation des forces de frottement. Si donc on prend la précaution d'atteindre l'équilibre d'un même côté, par exemple en faisant toutes les mesures à piston descendant, l'on aura déterminé la valeur  $\Delta R_0$  qui exprime les limites entre lesquelles peut varier le frottement  $R_0$ .

$R_0$  mesure directement la *reproductibilité* de la balance manométrique.

Comme  $\Delta R_0$  est une fonction croissante de  $R_0$ , l'amélioration de la sensibilité et de la reproductibilité de la balance manométrique ne peut être obtenue que par une diminution des frottements solides.

B. THÉORIE DE LA ROTATION DU PISTON. — Les premières balances manométriques, telle que celle de STUCKRATH ou de CAILLETET, n'avaient pas de dispositifs permettant d'éliminer les frottements solides, aussi leur reproductibilité était-elle médiocre; WIEBE (30) essaya de diminuer les frottements par l'application de légers coups de marteau sur le piston, mais n'obtint que des résultats peu appréciables. C'est à AMAGAT que revient l'idée d'appliquer une rotation au piston; ce système qui lui donna des résultats remarquables est encore en usage dans les appareils modernes.

En 1908, KLEIN (20) tenta de donner une explication théorique de l'influence de la rotation, toutefois son interprétation, comme le montra MICHELS, fut simpliste et inexacte.

MICHELS (22), reprenant une étude de SOMMERFELD (26) traitant des frottements entre un axe et son support, l'appliqua avec succès au cas de la balance manométrique, en la complétant au cas limite d'une faible vitesse de rotation. Reprenons les principaux résultats de cette théorie.

a. *Cas d'un axe horizontal.* — Soit un axe horizontal tournant dans un support bien lubrifié. L'expérience montre qu'à faible vitesse de rotation les frottements sont du type « frottements secs » c'est-à-dire, à peu de chose près, les mêmes frottements que ceux qui prennent naissance lorsque deux surfaces solides, en contact, se déplacent l'une par rapport à l'autre. Rappelons que les

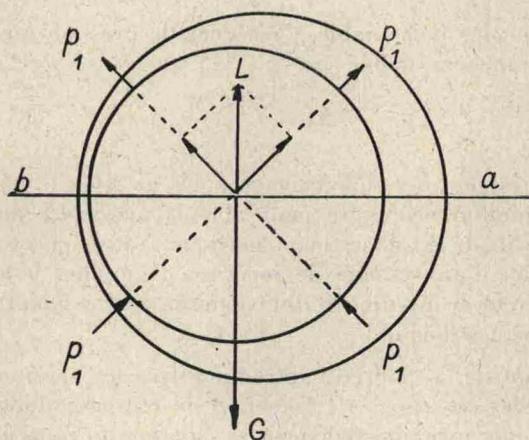


FIG. 4

forces de frottements sont indépendantes de la vitesse relative des surfaces et sont proportionnelles à la force de contact, normale aux deux surfaces.

A grande vitesse de rotation, l'image est tout autre : les frottements sont alors du même type que ceux exercés par un courant liquide sur une surface immobile. Les frottements seront alors indépendants de la pression mais proportionnels à la vitesse relative de rotation.

1. SOMMERFELD interprète ces faits très simplement en supposant qu'à grande vitesse il n'y a pas de contact direct entre l'axe et son support mais qu'une mince couche d'huile sépare les deux surfaces. Quelle est l'origine de la force qui soulève l'axe ?

Supposons que l'axe ait une position excentrique par rapport à son support avec le sens de rotation indiqué, et faisons abstraction des courants liquides parallèles à l'axe et des forces qui en résultent (fig. 4).

SOMMERFELD montre que, dans ce cas, la couche d'huile est le siège de diverses pressions :

1° La pression  $p_0$  constante en chaque point de la couche;