

MESURES SUR LES COURBES DE RESONANCE ULTRASONORES DANS DES LIQUIDES

par A. VAN ITTERBEEK et A. DE BOCK *

(Communication du «Centre d'Etude Scientifique et Technique
du Froid», Louvain, Belgique)

(Reçu le 15 Avril 1947)

1. Le mode de vibration d'un quartz piézo-électrique dans un liquide est déterminé par l'équation différentielle :

$$(1) \quad M \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + W \cdot \frac{dx}{dt} + G \cdot x = P \cdot \sin \omega t$$

$\omega = 2\pi/T$, x est le déplacement d'un élément de volume quelconque autour de sa position d'équilibre, M représente un facteur qui dépend de la moitié de la masse du cristal et de celle du liquide accouplé, W est le facteur de frottement du système cristal-liquide, G la rigidité et P l'amplitude d'une force périodique extérieure. Le coefficient d'amortissement du système donnant lieu à un rayonnement dans un sens est exprimé par la formule

$$(2) \quad \delta = \frac{W}{2M} \cdot T.$$

L'amplitude R des oscillations en fonction de la pulsation ω , est donnée par l'équation :

$$(3) \quad R = \frac{P}{\sqrt{(G - M \cdot \omega^2)^2 + W^2 \omega^2}}.$$

En pratique on ne mesure pas l'amplitude R , mais l'énergie sonore $E = k \cdot R^2 \cdot \omega^2$ ou k est un facteur indépendant de la fréquence. Pour

* Aspirant du Fonds National de la Recherche Scientifique.

l'énergie sonore en fonction de ω , on peut établir à partir de l'équation (3), l'expression suivante :

$$(4) \quad E = \frac{k \cdot P^2 \cdot \omega^2}{(G - M \cdot \omega^2)^2 + W^2 \omega^2}$$

La courbe représentant E en fonction de ω est une courbe en cloche qui possède un maximum pour $\omega = \omega_r$ (ω_r étant la pulsation propre du quartz).

Le décrétement logarithmique du système peut être calculé de cette courbe au moyen de l'équation :

$$(5) \quad \delta = \frac{\pi(\omega_r^2 - \omega_1^2)}{\omega_r \cdot \omega_1}$$

ω_1 est la pulsation correspondant à une énergie ultrasonore $E_1 = E_r/2$ ($E_r =$ énergie émise à la résonance).

D'autre part il a été établi par BERGMANN [1] que le décrétement logarithmique peut être calculé à partir des propriétés physiques du liquide dans lequel vibre le quartz. Ainsi

$$(6) \quad \delta = 2 \frac{\rho \cdot v}{\rho_0 \cdot v_0}$$

(ρ est la densité du liquide, v vitesse de propagation du son dans le liquide; ρ_0 et v_0 sont les mêmes valeurs pour le quartz).

On peut donc prévoir qu'en étudiant le mode de vibration d'un quartz dans un liquide on peut obtenir des indications concernant les propriétés physiques du liquide.

Entre autre nous avons l'intention d'appliquer cette méthode à l'étude des gaz liquéfiés tels que l'oxygène, l'azote, l'hydrogène et l'hélium liquide.

Afin de mettre au point cette méthode nous avons étudié à température ordinaire les oscillations de cristaux de différentes fréquences (530 kc, 20 mm, 600 kc, 800 et 900 kc tous de 15 mm de diamètre), dans la paraffine, le xylol et l'huile pour transformateur. Ces mesures nous ont fourni en outre des indications sur la manière dont le mode de vibration du quartz dépend du montage de celui-ci ainsi que de ses dimensions.

2. Appareils de mesures. Pour l'excitation du quartz sous différentes fréquences, nous avons fait usage d'un oscillateur de 100 watt permettant une variation continue de la fréquence entre 200 et 1200 kc.



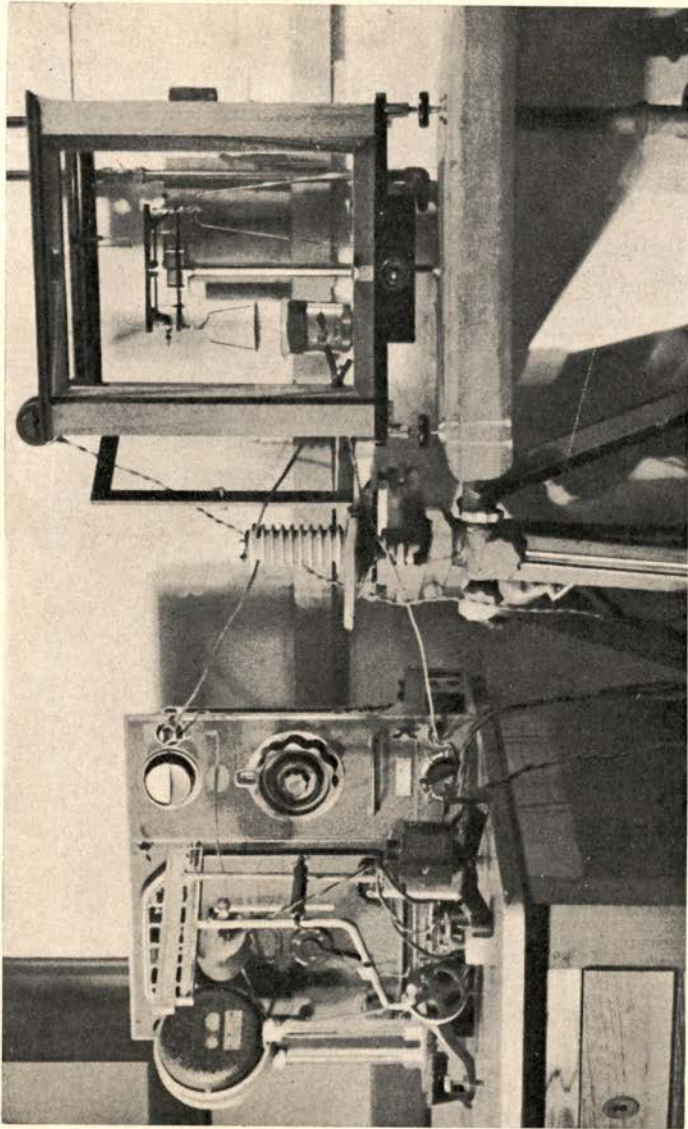


Fig. 2

La tension effective aux électrodes du quartz est mesurée au moyen d'un voltmètre électrostatique du type Stark et Schroeder.

Toutes les mesures ont été faites pour une tension effective de 2000 volt. Le montage est représenté dans les figures 1 et 2.

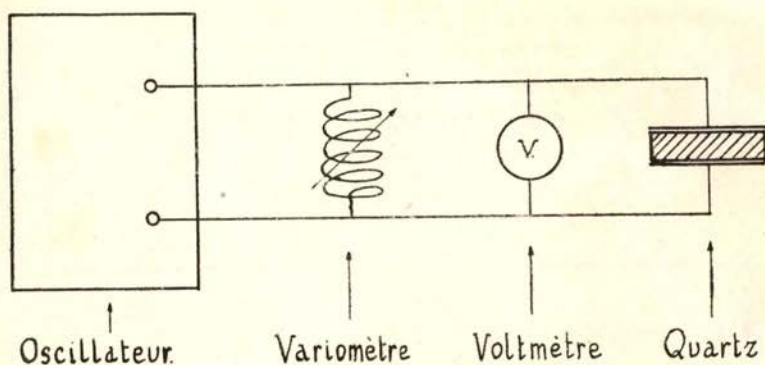


Fig. 1

Pour la mesure de l'intensité sonore, nous avons employé la méthode indiquée par SOERENSEN [2], laquelle consiste à mesurer la pression de

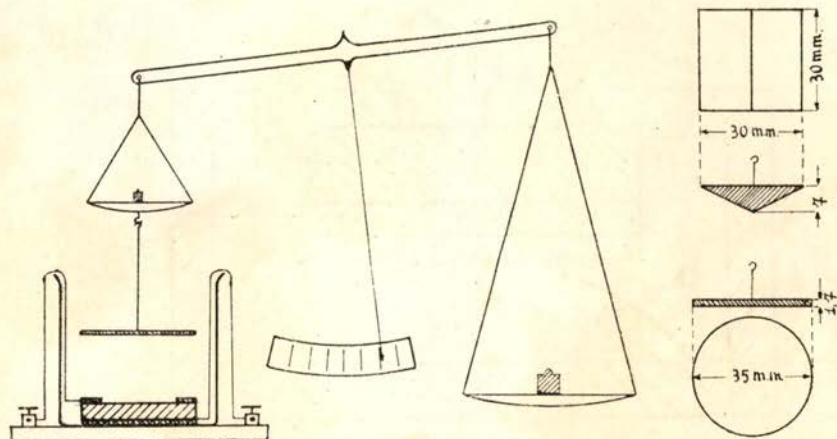


Fig. 3

radiation sonore au moyen d'une balance de précision (voir fig 2 et 3). Cette pression est exercée sur un réflecteur attaché à un des plateaux de la balance. Nous avons comparé les mesures faites au moyen d'un

disque en verre (diamètre 35 mm, épaisseur 1,7 mm) et celles faites au moyen d'un petit volume creux de forme trapézoïdale en cuivre rouge (épaisseur de la paroi 0,2 mm).

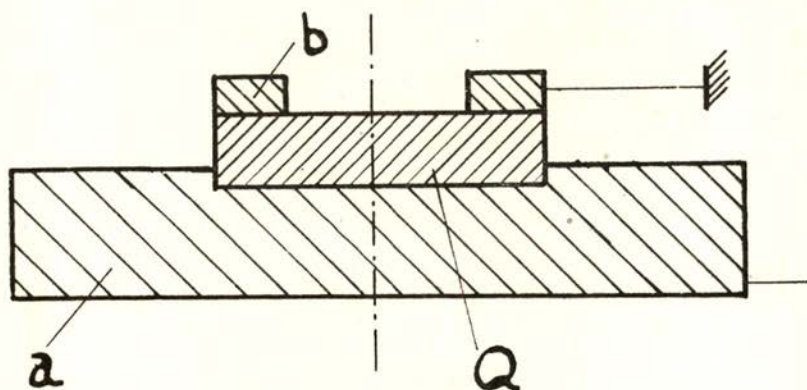


Fig. 4

Le plus grand nombre de mesures ont été effectuées au moyen du réflecteur creux, bien que ces mesures correspondaient exactement avec

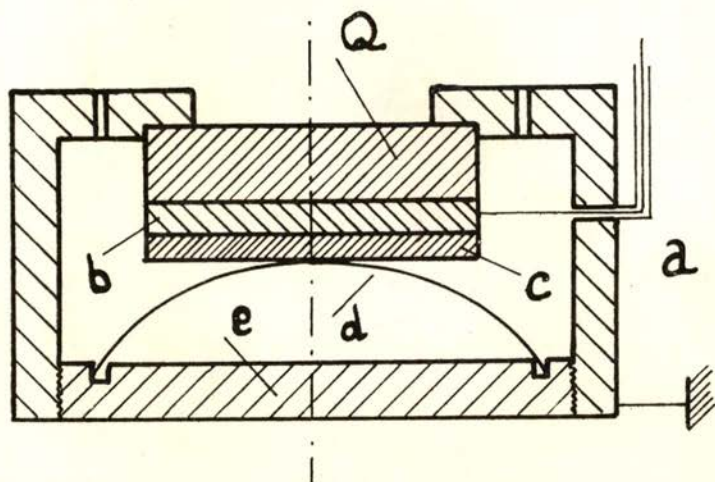


Fig. 5

celles faites au moyen du disque en verre. La pression de radiation sonore est déduite de la déviation totale du fléau de la balance. Cette

pression S est liée à l'intensité ultrasonore J par la formule bien connue de LANGEVIN [3].

$$(7) \quad S = E = \frac{J}{v}.$$

La pression de radiation maximum atteignit la valeur d'environ 3 mgr par cm^2 . Ceci correspond à une intensité sonore de 0,15 watt/ cm^2 .

Pour le montage des quartz, nous avons employé les différents dispositifs représentés dans les figures 4 et 5.

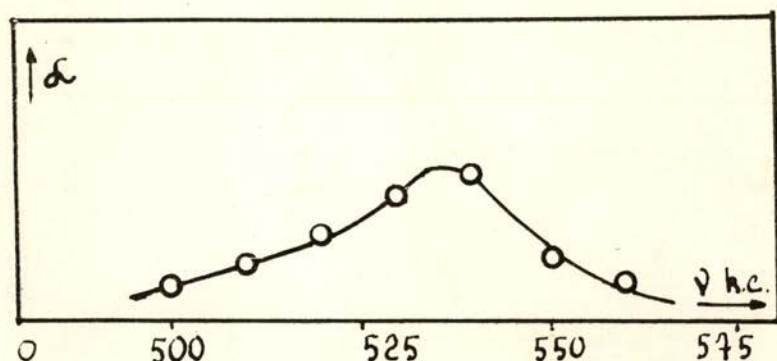


Fig. 6

Dans un montage (I) le quartz était posé sur un disque en cuivre a (épaisseur 9,5 mm, diamètre 48,5 mm). Dans ce disque, servant comme électrode de haute tension, était tournée une cuvette. L'électrode reliée à la terre était un anneau circulaire b (diamètre intérieure 14 mm, diamètre extérieure 26 mm; épaisseur 3 mm). Dans le second montage (II) le cristal q fut placé à l'intérieur d'une boîte a en cuivre (diamètre 40 mm, hauteur 22 mm). Celle-ci se trouvait au potentiel de la terre.

La surface supérieure est munie d'un trou (diamètre 14 mm) devant lequel est placé le quartz. L'électrode de haute tension b est un disque en cuivre (diamètre 22 mm, épaisseur 2 mm). Cette électrode est serrée contre le cristal au moyen d'une plaque c en ébonite ou en verre par l'intermédiaire d'une bandelette d en acier servant comme ressort. Ce ressort est légèrement serré contre le cristal au moyen d'un disque e vissé dans la partie inférieure de la boîte a . Le disque en ébonite était remplacé par celui en verre pour les mesures effectués dans le xylol pour cause de son action dissolvante.

Tous les cristaux que nous avons employés sont taillés perpendiculairement à l'axe électrique. Nous remercions bien vivement le Profes-

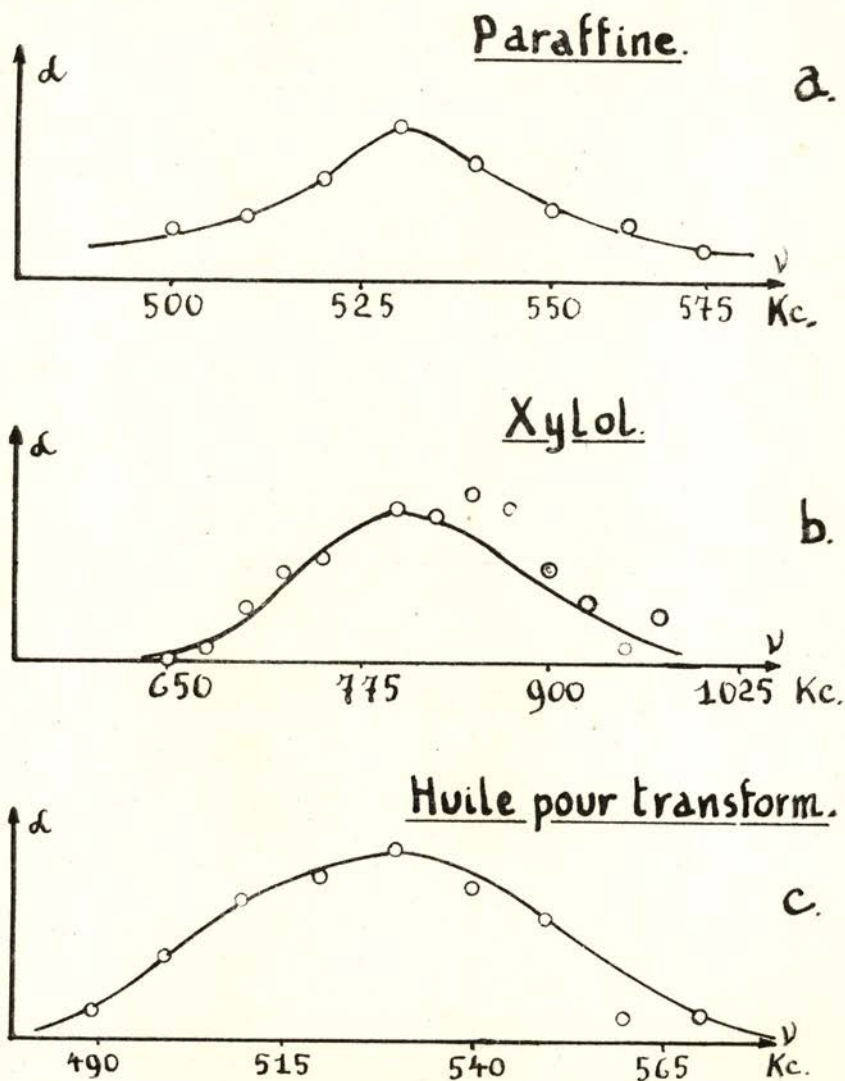


Fig. 7

seur P. Turlot de La Louvière (Belgique) qui nous a fourni le cristal de 530 kc. Les cristaux de fréquence 600, 800 et 900 kc nous ont été fournis par la Société Belge d'Optique de Gand.

3. Mesures. Les mesures faites avec le premier montage ont donné lieu à des courbes de résonances asymétriques (voir fig. 6).

Un phénomène analogue a été observé par BECKER [4]. Néanmoins nous avons calculé à partir de ces mesures le coefficient d'amortissement; la valeur de δ obtenue à partir de ces courbes diffère très peu des valeurs correspondantes aux courbes symétriques, que nous avons obtenues en utilisant le dispositif de la figure 5.

Dans les figures 7 a, b, c nous avons représenté quelques courbes de résonance obtenues respectivement avec la paraffine, le xylol et l'huile pour transformateur. A partir de ces différents résultats nous avons calculé les coefficients d'amortissements pour les trois liquides en question. Les résultats, correspondants à différents montages, sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

DÉCREMENTS D'AMORTISSEMENT DANS DIFFÉRENTS LIQUIDES

Liquide	Fréquence kc	Montage	δ exp	$\delta = 2 \frac{\rho \cdot v}{\rho \bar{v} \cdot v_0}$
Paraffine	530	I	0,19	0,16
	530	II	0,21	
	530	II	0,16	
	600	II	0,36	
	800	II	0,55	
	800	II	0,55	
	900	II	0,43	
Xylol	530	I	0,18	0,16
	800	I	0,71	
	800	I	0,81	
	900	I	0,69	
Huile pour transformateur	530	II	0,29	—
	800	II	0,76	
	900	I	0,38	

Nous voyons donc d'après le tableau ci-dessus que pour le quartz de 530 kc on trouve une bonne correspondance entre les valeurs expérimentales et les valeurs théoriques. Pour les autres quartz le décrement expérimental est environ quatre fois plus grand que le décrement théorique. Ceci peut se comprendre, le diamètre de ces quartz ne différant que peu de l'épaisseur, de sorte qu'il faut prendre en considération la radiation latérale.

A la fin de cet article nous remercions bien vivement le Fonds National de la Recherche Scientifique belge en premier lieu pour le fait qu'il a mis à notre disposition différents appareils sous forme de prêt et en second lieu pour l'aide financière dont a pu jouir un d'entre nous sous forme de mandat d'Aspirant.

Nous remercions également le Prof. J. De Smedt pour l'intérêt avec lequel il a suivi ces expériences.

LITTÉRATURE

- [1] L. BERGMANN, *Der Ultraschall*, V. D. I. Verlag, Berlin, 1942.
- [2] CHR. SOERENSEN, *Ann. d. Phys.*, **26**, 121, 1936.
- [3] P. LANGEVIN, *Rev. d'Acoustique*, **1**, 93, 1932; **1**, 315, 1932; **2**, 288, 1933; **3**, 104, 1934.
- [4] H. BECKER, *Ann. d. Phys.*, **26**, 645, 1936.