

# Sur le frottement intérieur des fils de quartz aux basses températures [suite et fin]

Autor(en): **Guye, C.-E. / Einhorn-Bodzechowski, M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences physiques et naturelles**

Band (Jahr): **41 (1916)**

PDF erstellt am: **17.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-742654>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

SUR LE  
**FROTTEMENT INTÉRIEUR DES FILS DE QUARTZ**  
AUX BASSES TEMPÉRATURES

PAR

**C.-E. GUYE et M. EINHORN-BODZECZOWSKI**

*(Suite et fin <sup>1)</sup>)*

---

V. RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES

*Fils de verre*

§ 1. *Généralités concernant les expériences avec des fils de verre.* — Indépendamment des expériences faites sur les fils de quartz, nous avons également effectué des observations sur des fils de verre. Le verre utilisé provenait de l'usine René Martin, Paris (St-Denis); M. B. Fikh a bien voulu se charger d'en faire l'analyse; les résultats ont été les suivants :

*Composition du verre*

SiO <sub>2</sub> . . . . .	56.25 %
PbO . . . . .	25.08
Na <sub>2</sub> O . . . . .	8.02
K <sub>2</sub> O . . . . .	5.27
CaO . . . . .	2.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0.56
F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0.30
MgO . . . . .	0.30
SnO <sub>2</sub> . . . . .	0.08
MnO . . . . .	0.05
Humidité . . . . .	0.17
Perte au feu . . . . .	0.22
	98.30 %

<sup>1)</sup> Voir *Archives*, 1916, t. XLI, p. 287 et 376.

Tous les fils provenaient du même échantillon de verre et avaient subi exactement le même traitement, avant d'être soumis aux observations. Examinés au microscope, ils se sont montrés réguliers dans toute leur longueur. L'emploi de la lumière polarisée a permis de vérifier leur complète isotropie, aussi bien avant qu'après les expériences. Enfin nous avons toujours utilisé le même mode de fixation pour tous les fils.

En ce qui concerne l'étude de la variation du décrément logarithmique  $\lambda$  en fonction de la température nous avons toujours suivi le même ordre dans nos expériences : en premier lieu le fil était étudié à la température de la salle, puis à celle de la glace, à celle de la neige carbonique et à celle de l'air liquide ; finalement on reprenait les observations à la température de la salle.

La variation du décrément  $\lambda$  entre les températures de  $0^\circ$  et de  $-79^\circ$  étant très considérable, nous avons cru utile d'intercaler entre ces deux températures une observation faite à une température intermédiaire. Dans ce but nous avons refroidi de l'alcool à une température de  $-45^\circ$ , en y introduisant de la neige carbonique, et en brassant le mélange jusqu'à disparition complète de l'anhydride carbonique solide ; dans ces conditions, l'alcool devient très visqueux. Après avoir atteint la température voulue, nous avons versé l'alcool dans le récipient Dewar en quartz de notre appareil (voir la fig. 2).

Il était facile de maintenir la température constante au degré voulu de précision en brassant légèrement le mélange et en y ajoutant de temps en temps un peu de neige carbonique. La neige carbonique flotte d'abord à la surface, mais, en refroidissant la couche supérieure du liquide, elle en fait augmenter la densité. Le liquide refroidi commence alors à descendre et entraîne des parcelles de  $\text{CO}_2$  solide. Ce courant de convection et les bulles de gaz qui se dégagent en abondance provoquent spontanément le brassage du liquide et établissent de la sorte une température à peu près uniforme à l'intérieur du mélange réfrigérant. La température fut contrôlée au moyen d'un thermomètre à pentane.

§ 2. *Nécessité de recuire les fils de verre.* — Lorsqu'on a déterminé le décrement logarithmique  $\lambda$  d'abord à la température ordinaire, puis à des températures plus basses jusqu'à celle de l'air liquide, on constate, en revenant à la température initiale, que le décrement a augmenté (de 5 % environ). En recuisant le fil avant l'expérience pendant un certain temps dans un bain de sable à 350 degrés, et en le laissant revenir ensuite lentement à la température ordinaire on fait disparaître cet effet, de sorte que les valeurs de  $\lambda$  observées, d'abord en descendant et ensuite en remontant l'échelle des températures, se superposent complètement. Cette dernière constatation s'accorde avec les phénomènes observés antérieurement par C.-E. Guye et S. Vassileff.

§ 3. *Influence du temps sur le décrement logarithmique.* — Comme nous l'avons déjà fait remarquer plus haut, il est nécessaire, avant de commencer les observations, de laisser s'écouler quelques jours à partir du moment où un fil a été soumis à l'action de la charge de l'oscillateur. Cette précaution est indispensable parce que la valeur du décrement logarithmique est au début sujette à une diminution progressive (période d'acomodation). Au bout de deux jours, l'état moléculaire semble avoir pris son nouvel équilibre ; du moins le décrement  $\lambda$  a-t-il alors une valeur définitive qui ne subit plus de changement appréciable avec le temps pour une même température.

Ainsi par exemple un de nos fils de verre a fourni successivement les deux valeurs suivantes du décrement logarithmique :

18 décembre 1914 . . .  $\lambda = 0,00513$

6 janvier 1915 . . . .  $\lambda = 0,00511$

Les deux époques auxquelles ont été faites les déterminations de  $\lambda$  sont suffisamment éloignées l'une de l'autre pour qu'on puisse tirer de ces chiffres une conclusion probante. La petite différence des deux valeurs observées du décrement  $\lambda$  est de beaucoup inférieure aux limites des erreurs possibles.

Nous sommes donc autorisés à conclure que la valeur du

décroissement logarithmique, abstraction faite de la période d'acomodation, ne subit aucun changement appréciable avec le temps.

§ 4. *Influence de l'amplitude.* — A la température de la salle, ainsi qu'à zéro, nous avons pu étudier l'influence de l'amplitude sur le décroissement logarithmique  $\lambda$ . Le décroissement semble diminuer de 1 à 2 % si l'amplitude décroît d'une valeur initiale de 2,5 degrés à la moitié de cette valeur. On trouve du reste que la valeur du décroissement pour une amplitude donnée, dépend un peu de la grandeur de l'amplitude initiale, c'est-à-dire de celle avec laquelle on a lancé le système.

Si on fait partir le système avec une amplitude initiale deux fois plus grande le décroissement augmente de 2 % environ. Cette constatation a été faite pour des amplitudes inférieures à trois degrés.

Les valeurs du décroissement logarithmique  $\lambda$  indiquées dans nos tables sont des moyennes calculées toujours pour le même intervalle d'amplitudes et pour des amplitudes initiales de même grandeur. Nous avons en effet pris la précaution de lancer notre système toujours de la même façon pour rendre comparables les différentes observations bien que les différences soient petites.

En définitive si nos observations ne nous permettent pas de conclure à une indépendance absolue de l'amplitude, nous pouvons cependant affirmer que l'influence de l'amplitude, si elle existe, est certainement très faible.

§ 5. *Influence de la température.* — Le tableau ci-dessous ainsi que les courbes de la fig. 6 représentent les valeurs du décroissement logarithmique  $\lambda$  en fonction de la température pour deux fils de même longueur qui n'ont pas tout à fait le même diamètre. On remarquera que l'allure des courbes est très régulière. Le décroissement diminue assez rapidement jusqu'à environ  $-79^\circ$ , puis bien plus lentement pour des températures inférieures jusqu'à celle de l'air liquide. Nous avons retrouvé la

TABLEAU VII. — Variation du décrement logarithmique en fonction de la température. Fils de verre

$l = 18.5 \text{ cm. ; } I = 897 \text{ gr. cm}^2 ; p = 1 \text{ mm. Hg}$				
TEM- PÉRATURE $\vartheta$	Fil II ; $d_2 = 0.27$		Fil III ; $d_3 = 0.25$	
	Période T (sec.)	Décr. log. $\lambda$	Période T (sec.)	Décr. log. $\lambda$
ordinaire	15° 3.743	0.01089	18° 4.021	0.01060
0°	3.733	0.00777	4.010	0.00720
- 45°	3.717	0.00337	—	—
- 79°	3.712	0.00243	3.987	0.00236
-194°	3.697	0.00222	3.973	0.00210

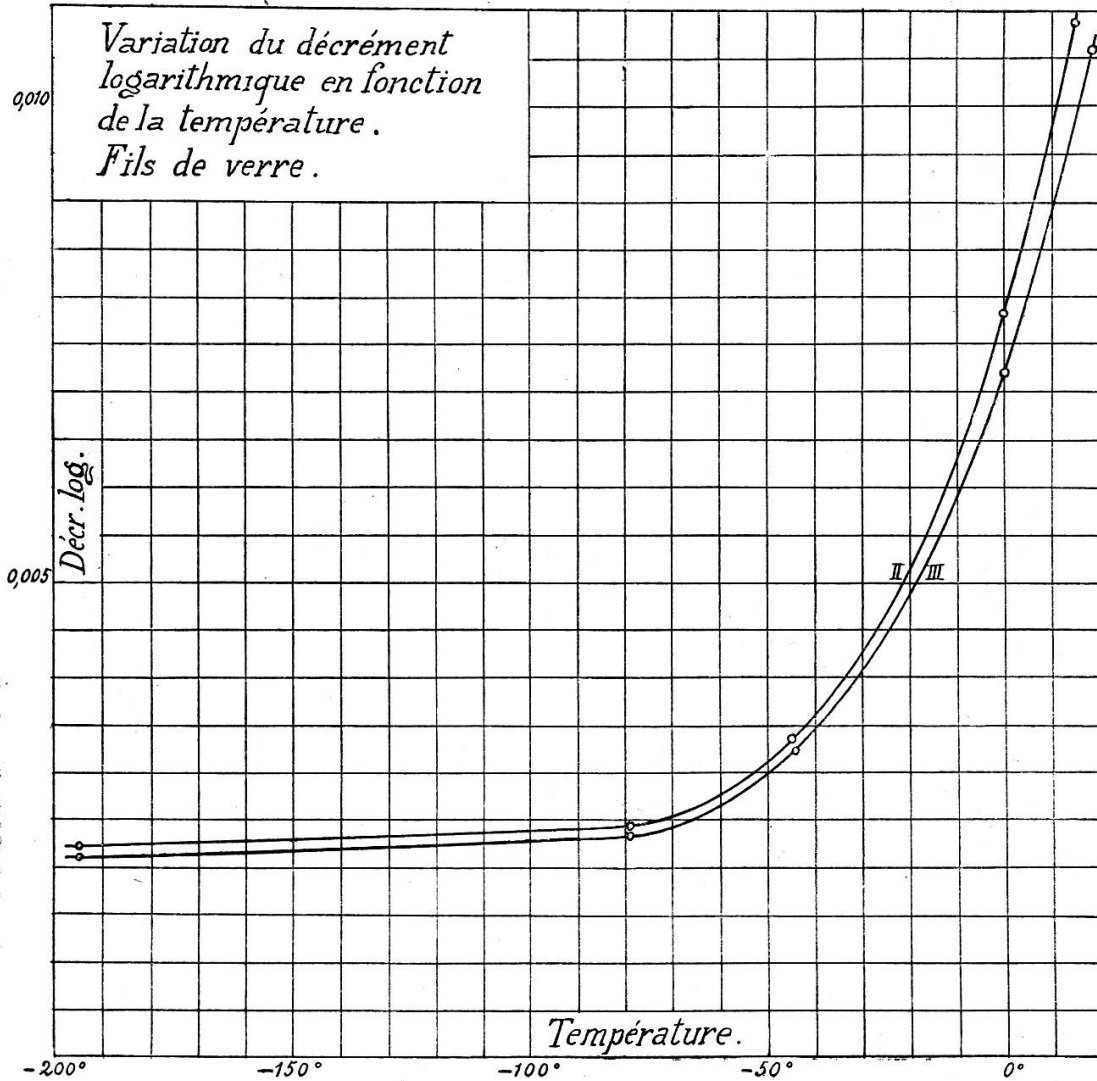


FIG. 6

même allure générale de la variation de  $\lambda$  pour un fil plus court.

Les deux fils auxquels se rapportent les tableaux de ce chapitre avaient les diamètres :

$$d_2 = 0,27 \text{ mm.} \quad \text{et} \quad d_3 = 0,25 \text{ mm.}$$

Tandis qu'à la température ordinaire les valeurs des décrets de ces deux fils diffèrent de 8 %, elles se rapprochent beaucoup à la température de la neige carbonique et tendent à se confondre à celle de l'air liquide. Nous ne pensons pas que l'écart de 8 % qui se manifeste à la température ordinaire soit attribuable à la différence des diamètres ; il peut en effet tenir à beaucoup d'autres causes.

Les deux fils n'avaient peut-être pas identiquement la même constitution physique, étant données les tensions latentes qui doivent exister à l'intérieur d'un fil étiré. De plus leur forme n'était pas parfaitement cylindrique. Malgré les soins apportés à la préparation des fils de verre on n'arrive pas en effet à leur donner la forme d'un cylindre parfait. Cependant, cette condition devrait être satisfaite avec une grande précision pour permettre d'aborder l'étude de l'influence du diamètre des fils sur le décrement logarithmique.

Nous n'avons, du reste, nullement l'intention d'étendre nos recherches à cette question, précisément parce que nous nous rendions compte de ces difficultés, et nous nous sommes bornés, pour cette raison, à l'étude de deux fils seulement.

Pour calculer la valeur absolue de l'énergie consommée par oscillation à la température de l'air liquide nous avons utilisé la formule (12) :

$$\Delta P = 4\pi^2 \alpha_n^2 \lambda \frac{I}{T^2} .$$

En prenant les données relatives au fil II :

$$\begin{array}{ll} \alpha_n = 0,034, & I = 897 \text{ gr. cm}^2, \\ \lambda = 0,0021, & T = 4,02 \text{ sec.} \end{array}$$

on obtient :

$$\Delta P = 0,0053 \text{ ergs.}$$

TABLEAU VIII. — Influence de la période sur le décrement logarithmique.  
Fil de verre II.

$l = 18.5 \text{ cm.}; \quad d = 0.27 \text{ mm.}; \quad p = 1 \text{ mm. Hg}$				
TEM- PÉRATURE $\vartheta$	$I_1 = 897 \text{ gr. cm}^2$		$I_2 = 3400 \text{ gr. cm}^2$	
	Période T (sec.)	Décr. log. $\lambda$	Période T (sec.)	Décr. log. $\lambda$
+ 15°	3.743	0.01089	7.31	0.01080
0°	3.733	0.00777	7.29	0.00770
- 45°	3.717	0.00337	7.26	0.00321
- 79°	3.712	0.00243	7.25	0.00210
-194°	3.697	0.00222	7.22	0.00174

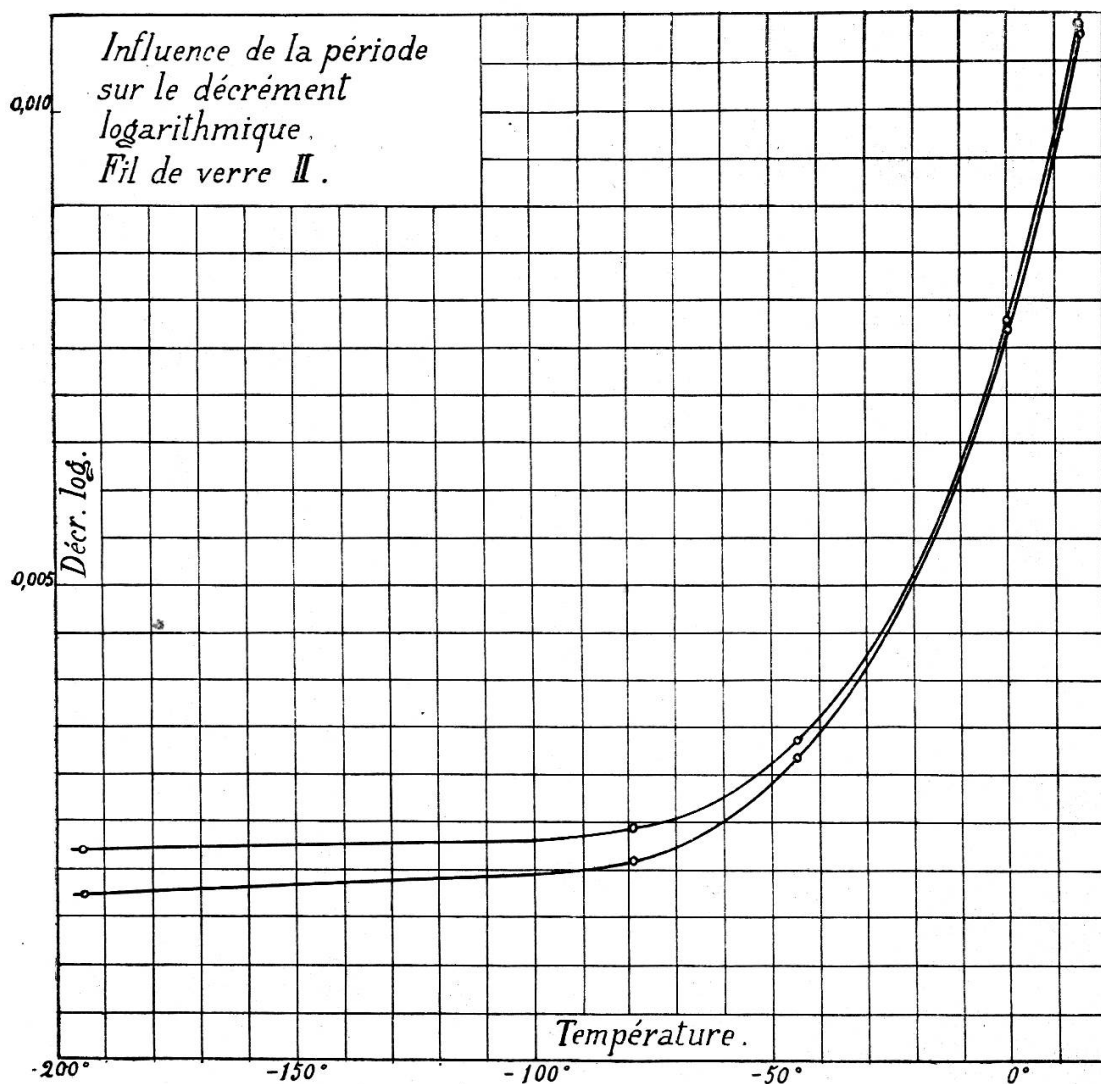


FIG. 7



TABLEAU IX. — Influence de la période sur le décrement logarithmique  
Fil de verre III

$l = 18.5 \text{ cm. ; } d = 0.25 \text{ mm. ; } p = 1 \text{ mm. Hg}$				
TEM- PÉRATURE $\vartheta$	$I_1 = 897 \text{ gr. cm}^2$		$I_2 = 3400 \text{ gr. cm}^2$	
	Période T (sec.)	Décr. log. $\lambda$	Période T (sec.)	Décr. log. $\lambda$
- 18°	4.021	0.01060	7.854	0.01050
0°	4.010	0.00720	7.833	0.00714
- 79°	3.987	0.00236	7.788	0.00216
-194°	3.973	0.00210	7.760	0.00168

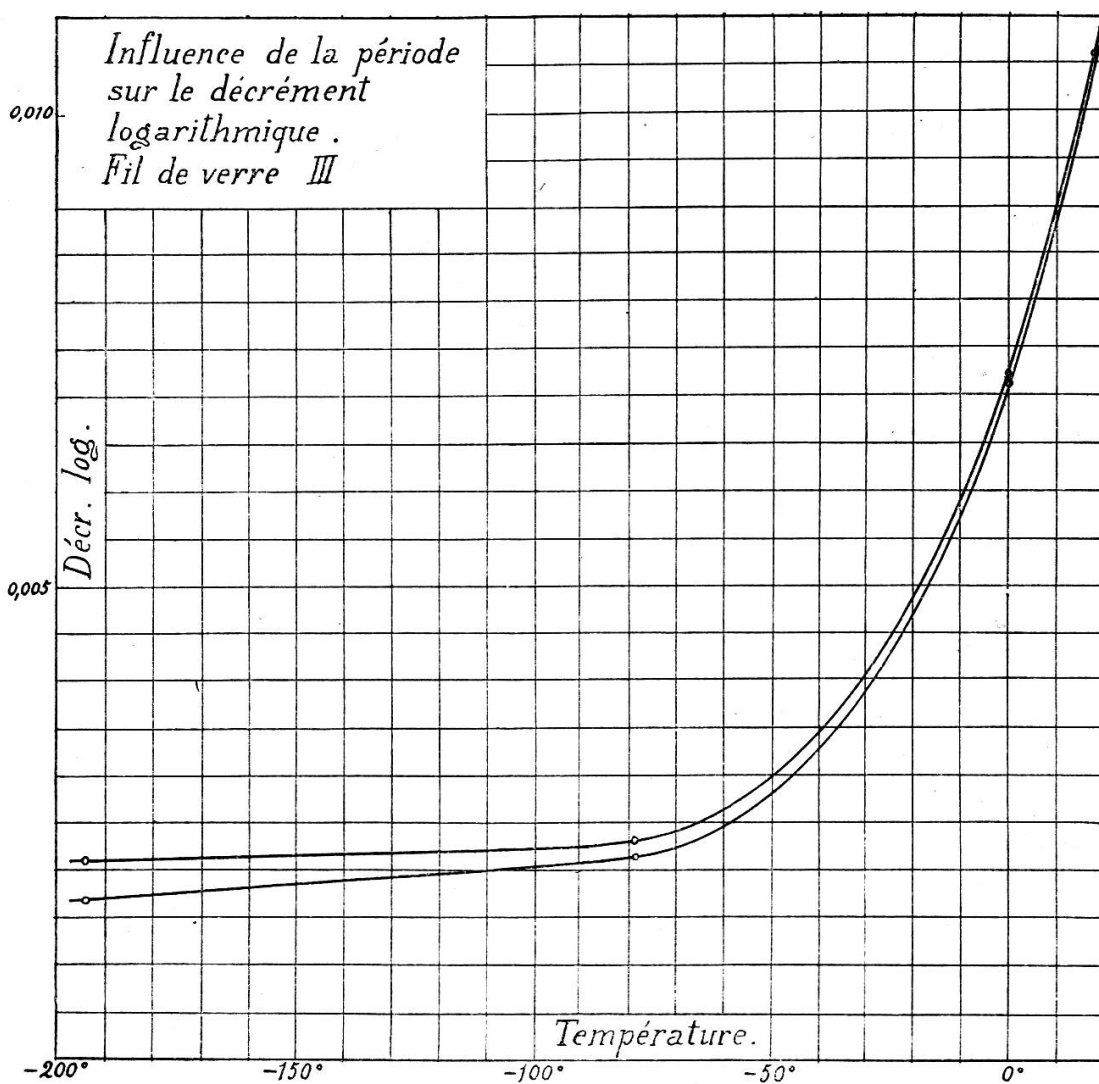


FIG. 8

Cette perte d'énergie <sup>(1)</sup> est approximativement de même grandeur que celle qui a été calculée pour le fil de quartz IV. (Voir chapitre IV, § 2).

§ 6. *Influence de la période des oscillations.* — Nous avons utilisé deux moments d'inertie différents présentant les valeurs :

$$I_1 = 897 \text{ gr. cm}^2, \quad I_2 = 3400 \text{ gr. cm}^2.$$

Avec ces deux moments d'inertie on obtient pour un même fil des durées d'oscillation qui sont à peu près dans le rapport du simple au double. Les deux fils du paragraphe précédent ont été ainsi étudiés chacun dans les conditions qui résultent de l'emploi de ces deux moments d'inertie.

On constate alors (voir fig. 7 et 8) qu'à la température de la salle et à zéro la valeur du décrement logarithmique  $\lambda$  est presque indépendant de la période des oscillations ; à plus basse température par contre les valeurs du décrement observées pour deux moments d'inertie différents s'écartent de plus en plus. En ce qui concerne les plus hautes températures notre résultat s'accorde donc avec ceux de C.-E. Guye et S. Vassileff qui ont trouvé pour diverses qualités de verre qu'entre 18° et 350° le décrement ne dépend pas de la période ; résultat compatible avec la théorie de Boltzmann.

A la température de l'air liquide par contre les écarts des décrets observés pour les deux moments d'inertie indiqués atteignent environ 20 %, la variation de  $\lambda$  se faisant dans le sens indiqué par la théorie de M. Voigt. Cette constatation confirme donc, en l'accentuant même, le résultat obtenu pour des fils de quartz, et par conséquent les considérations exposées dans le § 3 du chapitre précédent.

§ 7. *Influence de la température sur le second module d'élasticité.* — Contrairement à ce qui a été constaté pour les fils de

<sup>1)</sup> A première vue on pourrait croire que cette perte est due à un amortissement parasite résiduel constant. L'étude que nous avons faite jusqu'ici des courbes et des résultats ne paraît pas favorable à cette hypothèse.

quartz, le second module d'élasticité des fils de verre augmente lorsque la température s'abaisse.

L'augmentation de la période d'oscillation  $T$  entre  $0^\circ$  et  $-79^\circ$ , respectivement entre  $0^\circ$  et  $-194^\circ$  s'exprime par les rapports :

$$\frac{T_0}{T_{-79}} = 1,006 \text{ à } 1,010 \quad \text{et} \quad \frac{T_0}{T_{-194}} = 1,012 \text{ à } 1,015$$

suivant l'échantillon.

On en tire pour ce qui concerne le second module d'élasticité  $G$  proportionnel au carré de la période :

$$\frac{G_{-79}}{G_0} = 1,012 \text{ à } 1,020 \quad \text{et} \quad \frac{G_{-194}}{G_0} = 1,024 \text{ à } 1,030 .$$

Entre zéro et la température de l'air liquide, le second module augmente donc de 2,4 à 3 % environ.

## VI. CONCLUSIONS

Les expériences que nous avons effectuées sur le frottement intérieur des fils de quartz et de verre à la température ordinaire et aux basses températures conduisent aux conclusions suivantes :

1. Pour le *quartz* un refroidissement à  $-194^\circ$  produit une modification permanente de structure physique ou chimique qui se manifeste par une augmentation durable du décrement logarithmique. Lorsque le décrement a une fois subi cette augmentation sa valeur reste constante dans les expériences ultérieures pour toute température entre  $20^\circ$  et  $-194^\circ$  (limites de nos expériences).

2. Le décrement logarithmique diminue en général beaucoup avec la température. Il est deux fois plus petit à  $0^\circ$  qu'à la température de  $20^\circ$ . Lorsqu'on descend à  $-79^\circ$  la diminution est moins grande, mais encore assez considérable, tandis qu'un abaissement ultérieur ne produit qu'un changement très faible.

3. Le second module d'élasticité du quartz diminue de 2 à 3,5 % lorsque la température baisse de 0° à — 194°.

4. A zéro et à la température ordinaire le décrement logarithmique satisfait approximativement à la théorie de Boltzmann, suivant laquelle le décrement logarithmique  $\lambda$  est indépendant de la période  $T$ ; à basse température par contre le décrement diminue lorsque la période augmente. La condition théorique  $\lambda T = \text{constant}$  énoncée par M. W. Voigt n'est cependant pas satisfaite, mais il y a peut-être tendance vers la réalisation de cette condition au fur et à mesure que la température s'abaisse.

5. L'influence de l'amplitude sur le décrement logarithmique est très faible. Nous avons étudié cette influence à la température ordinaire et à celle de la glace fondante et nous avons constaté qu'on ne peut déceler un pareil effet avec certitude.

6. Pour des fils de *verre*, récuits préalablement, le décrement reprend sa valeur initiale lorsque, après refroidissement à — 194°, on ramène le fil à la température ordinaire. Le décrement conserve, l'accomodation une fois obtenue, une valeur invariable avec le temps pour une même température.

7. Le décrement est à peu près indépendant de l'amplitude des oscillations. Dans nos expériences (effectuées à la température ordinaire et à celle de la glace fondante), les amplitudes ne dépassaient pas 2,5 degrés.

8. En ce qui concerne la variation du décrement avec la température les fils de verre se comportent sensiblement de la même façon que les fils de quartz. A la température ordinaire et à zéro le décrement présente une valeur relativement grande et indépendante de la période des oscillations; à basse température le décrement est faible, mais il croît lorsque la période diminue, sans cependant satisfaire la condition :  $\lambda T = \text{constant}$ .

9. Contrairement à ce que l'on observe pour le quartz, le second module d'élasticité des fils de verre augmente de 3 % environ lorsque la température baisse de 0° à — 194°.

10. Disons, en terminant, que ces expériences ne paraissent pas favorables à l'hypothèse suivant laquelle le frottement intérieur tendrait à disparaître complètement aux basses tem-

pératures, à moins qu'on ne suppose qu'une partie appréciable de l'énergie absorbée, d'ailleurs extrêmement petite, ne soit due à des causes perturbatrices que l'on n'aurait pas réussi à éliminer complètement; mais l'examen des résultats et des courbes ne conduit pas à des conclusions favorables à cette manière de voir.

11. Il semble plutôt que l'effet observé à basse température présente un autre caractère que celui qui se manifeste aux températures élevées. Tandis que ce dernier, qui obéit approximativement à la théorie de Boltzmann, ne peut s'expliquer que par des considérations relativement compliquées, la perte d'énergie qui subsiste aux basses températures pourrait être attribuable, en partie du moins, à un frottement intérieur, fonction de la vitesse.

---