

**Zeitschrift:** Archives des sciences physiques et naturelles  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 6 (1924)

**Artikel:** Influence du recuit sur le frottement intérieur des fils de quartz aux températures élevées  
**Autor:** Pazziani, A. / Guye, C.-E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-741882>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 07.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

INFLUENCE DU RECUIT  
SUR LE  
**Frottement intérieur des fils de quartz**  
AUX TEMPÉRATURES ÉLEVÉES

PAR  
**A. PAZZIANI et C.-E. GUYE**

(Avec 9 figures.)

---

INTRODUCTION

**Résumé des travaux antérieurs**  
**sur le frottement intérieur dans les fils de verre et de quartz.**

Le frottement intérieur des fils de verre et des fils de quartz présente un intérêt particulier en raison de ses anomalies.

M. Ch.-E. Guye et M<sup>lle</sup> Vassilieff <sup>1</sup> ont en effet montré que le décrément logarithmique des oscillations de torsion des fils de verre d'Iéna, au lieu d'augmenter régulièrement avec la température, comme dans la plupart des métaux, passe par un minimum vers 120°. Pour les fils de verre ordinaire, le minimum se produit à 240° environ. Un léger recuit entre 300° et 400° a pour effet de rendre les fils assez homogènes pour que le décrément repasse par les mêmes valeurs lorsque la température diminue. L'augmentation du décrément avec la température est beaucoup plus rapide que pour le quartz et sa valeur est toujours indépendante de la vitesse de la déformation et de l'amplitude des oscillations.

<sup>1</sup> C.-E. GUYE et VASSILIEFF, *Arch.*, mars-avril 1914.

Dans un autre travail, MM. C.-E. Guye et Morein <sup>1</sup> en étudiant l'influence du diamètre sur le décrément ont établi que, pour les fils de quartz, un minimum du décrément se produit, suivant le diamètre du fil, entre  $80^{\circ}$  et  $210^{\circ}$  environ. La variation de ce minimum semble être une fonction continue du diamètre des fils. Le décrément est pratiquement indépendant du moment d'inertie de l'oscillateur, de la période et de l'amplitude des oscillations.

Cette variation thermique du décrément est essentiellement différente de celle qui se produit aux basses températures. En effet, MM. C.-E. Guye et Einhorn <sup>2</sup> ont montré qu'aux basses températures, la variation thermique du décrément est parfaitement régulière soit pour le verre soit pour le quartz, à la condition qu'ils aient été refroidis une première fois. En outre, de même que pour les hautes températures, l'influence de l'amplitude des oscillations est nulle. Contrairement à ce qui se produit pour le quartz, les fils de verre présentent une augmentation du second module d'élasticité lorsque la température baisse de  $0^{\circ}$  à  $-194^{\circ}$ .

Horton <sup>3</sup> a étudié la variation du second module d'élasticité des fils de quartz entre  $15^{\circ}$  et  $100^{\circ}$  puis entre  $20^{\circ}$  et  $1000^{\circ}$ . D'après ces expériences, la variation du décrément pour un même fil est linéaire.

Il déduit la valeur du second module d'élasticité de la mesure de la période d'oscillation au moyen de la méthode des coïncidences; cette méthode, quoique longue, est très précise. Cependant, il nous paraît peu utile de déterminer ce coefficient au millième près, vu l'influence fondamentale qu'a le recuit sur le frottement intérieur, de même que tous les traitements qu'a subis le fil avant le moment de la mesure. Les chiffres obtenus par Horton montrent que ce module n'est pas une fonction simple du diamètre des fils. En outre, les expériences sur la variation de  $\lambda$  n'ayant porté que sur un seul fil, les conclusions nous paraissent peu certaines. Le dispositif employé par Horton pour la détermination de  $\lambda$  est essentiellement différent de

<sup>1</sup> C.-E. GUYE et MOREIN, *Arch.*, septembre-octobre 1920.

<sup>2</sup> C.-E. GUYE et EINHORN, *Arch.*, avril 1916.

<sup>3</sup> HORTON, *Phil. Transactions*, janvier 1905, vol. A 204.

celui employé par M. Guye et ses collaborateurs dans l'étude de  $\lambda$  aux températures élevées. Le fil de quartz sert de fil de suspension au système oscillant, ce qui doit modifier dans une large mesure les propriétés du fil, et partant le décrément, surtout pour les hautes températures. La méthode est en outre compliquée par le fait que l'on doit tenir compte de la dilatation de l'oscillateur et introduire une formule de correction. Enfin l'étude du décrément d'un seul fil de quartz n'a pas permis à l'auteur de déceler l'anomalie que présente la variation thermique entre  $20^\circ$  et  $350^\circ$ . Les courbes établies pour ce fil montrent que l'augmentation thermique du décrément est presque linéaire et très faible jusqu'à  $400^\circ$ . Vers  $600^\circ$  sa valeur est deux fois plus grande qu'à  $500^\circ$  et à  $750^\circ$  l'augmentation devient très rapide jusqu'à  $1000^\circ$ . Le second module passe par un maximum très accentué vers  $800^\circ$ , puis diminue brusquement aux environs de  $1000^\circ$ .

Les conclusions que l'auteur tire sur la variation de  $\lambda$  d'un seul fil ne nous semblent pas très probantes. Les fils de verre et de quartz, en raison des phénomènes de trempe et de cristallisation, doivent être assez différents les uns des autres, et ce n'est qu'un grand nombre d'observations qui peut permettre une interprétation rationnelle des faits.

En résumé, tous ces travaux n'ont pas fourni une interprétation très nette des anomalies constatées dans la variation thermique du décrément. La raison principale en est que les propriétés physiques d'un solide dépendent de son histoire. Remarquons en outre que ni la théorie de Boltzmann sur les oscillations de torsion, ni celle de Voigt ne se trouvent vérifiées pour ce cycle de température ( $-194^\circ$  à  $350^\circ$ ) ce qui du reste n'est pas pour nous étonner vu que ces théories partent de l'hypothèse arbitraire de l'homogénéité des corps solides et ne tiennent pas compte de l'histoire thermique ou mécanique des corps étudiés.

Chevenard <sup>1</sup> a amplement démontré l'influence du passé des solides sur leurs propriétés physiques, en particulier sur leurs propriétés élastiques en atténuant par des recuits convenables

<sup>1</sup> CHEVENARD, C. R., t. 171, p. 93, 1920; t. 170, p. 1499, 1920.

les anomalies de la variation thermique du second module d'élasticité des fils de ferro-nickel et d'autres alliages. Ces mêmes anomalies avaient été du reste constatées par MM. Guye et Minz<sup>1</sup> dans des fils d'acier et M. Robin<sup>2</sup> a montré qu'elles étaient accompagnées de variations dans les sons émis par des tiges d'acier.

---

Les résultats obtenus par M. Chevenard sur les aciers nous ont engagés à étudier l'influence du recuit sur le frottement intérieur des fils de verre et de quartz, son effet sur la variation du décrément avec l'amplitude des oscillations et la variation thermique du 2<sup>me</sup> module d'élasticité. L'influence du temps sur le décrément a aussi pu être observée. Au cours du travail, nous avons été appelés à modifier la technique de ce genre de mesures; nous avons en outre étudié une modification de la méthode de Lippmann pour la détermination de la période d'oscillation.

Enfin, ayant constaté que nos fils de quartz n'étaient pas absolument isotropes, nous avons cherché à voir si la température atténuait ou supprimait cette anisotropie.

## CHAPITRE PREMIER

### Les diverses formes de la silice et ses transformations.

Nous jugeons utile pour la clarté de nos expériences de résumer brièvement ce que l'on sait aujourd'hui sur les formes allotropiques de la silice.

On est certain qu'elle peut exister sous les formes indiquées par le tableau suivant:

<i>Silice amorphe</i>	{ Silice précipitée
	{ Silice fondue

<sup>1</sup> C.-E. GUYE, *Arch.*, août-septembre 1908.

<sup>2</sup> ROBIN, *Journal de physique*, 1912, p. 298.

<i>Silice cristallisée</i>	
Cristobalite	Cristobalite $\alpha$
	Cristobalite $\beta$
Tridymite	Tridymite $\alpha$
	Tridymite $\beta$
Quartz	Quartz $\alpha$
	Quartz $\beta$

Les points de transformation de ces diverses formes les unes dans les autres ont été étudiés par de nombreux expérimentateurs. Le bref résumé qui suit de cette question montre toute la complexité du sujet et les diverses possibilités qui se présentent <sup>1</sup>.

#### A. TRANSFORMATION D'UNE FORME $\alpha$ EN FORME $\beta$ .

##### *Cristobalite de $\alpha$ en $\beta$ .*

Mallard <sup>2</sup> a montré qu'entre  $175^{\circ}$  et  $180^{\circ}$ , la cristobalite  $\alpha$  se transforme en cristobalite  $\beta$ .

Le Châtelier <sup>3</sup> fixe ce point à  $216^{\circ}$ , Wright <sup>4</sup> à  $235^{\circ}$ , Endell et Ricke <sup>5</sup> à  $230^{\circ}$ . La réversibilité de cette transformation est certaine; selon Fenner, ce passage peut se faire entre  $220^{\circ}$  et  $275^{\circ}$ , et la transformation inverse, entre  $200^{\circ}$  et  $240^{\circ}$ , suivant le traitement thermique auquel on a préalablement soumis la cristobalite.

##### *Tridymite de $\alpha$ en $\beta$ .*

Mallard <sup>6</sup> a établi la transformation de la tridymite  $\alpha$  en  $\beta$  à  $1300 \pm 5^{\circ}$  et Wright à  $120^{\circ}$ .

Fenner prétend qu'il y a trois tridymites:  $\alpha$ ,  $\beta_1$  et  $\beta_2$ . Selon cet auteur, la transformation d' $\alpha$  en  $\beta_1$  se produit à  $117^{\circ}$  et la transformation de  $\beta_1$  en  $\beta_2$  à  $163^{\circ}$ .

<sup>1</sup> Nous passons sous silence ce qui intéresse les formes cristallines car cela nous entraînerait trop loin du but que nous nous proposons.

<sup>2</sup> MALLARD, *C. R.*, vol. 110 (1890), p. 399.

<sup>3</sup> LE CHATELIER, *C. R.*, vol. 130, 1703 (1900).

<sup>4</sup> WRIGHT et LARSEN, *Z. f. anorg. Chem.* 68, (1910), 338-369.

<sup>5</sup> ENDELL et RIEKE, *Z. f. anorg. Chem.* 79 (1912), 239-259.

<sup>6</sup> MALLARD, *C. R.* vol. 110 (1890), p. 964.

*Quartz de  $\alpha$  en  $\beta$ .*

M. Le Châtelier a découvert la forme  $\beta$  et a montré que le passage de la forme  $\alpha$  à la forme  $\beta$  s'effectue à la température de  $570^\circ$  ou  $575^\circ$ . Dans un travail plus récent, Mugge<sup>1</sup> a fixé cette température à  $575^\circ$  et Wright et Larsen<sup>2</sup> à  $575^\circ \pm 2^\circ$ . Cette transformation réversible est accompagnée de brusques changements dans les propriétés physiques, en particulier dans le coefficient de dilatation linéaire, dans la polarisation rotatoire et la double réfraction. Ces transformations sont en relation avec la dilatation. Nous reproduisons ci-dessous les courbes de dilatation, obtenues par M. Le Châtelier<sup>3</sup>, montrant les brusques allongements aux points de transformation.

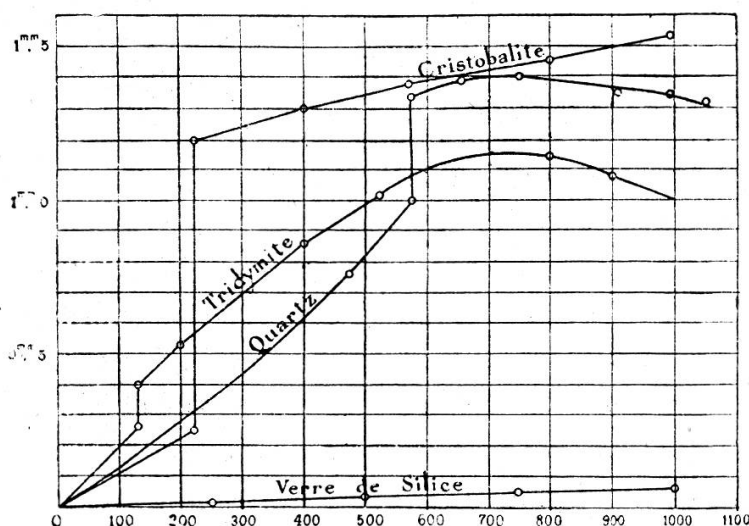


Fig. 1.

## B. TRANSFORMATION RÉCIPROQUE DES FORMES CRISTOBALITE-TRIDYMITE ET QUARTZ.

*Quartz en Tridymite.*

La température la plus basse à laquelle cette transformation se produit est maintenant fixée à  $870^\circ$ . Sa vitesse augmente avec la température. Fenner<sup>4</sup> estime qu'à partir de  $1470^\circ$ , il ne se forme plus de tridymite, mais de la cristobalite. Cette transfor-

<sup>1</sup> MUGGE. *Centrbl. f. Min.*, 1907, p. 195. — *Ibid.*, 1911, p. 7.

<sup>2</sup> WRIGHT et LARSEN. *Z. f. anorg. Chem.* 68 (1910) 338-369.

<sup>3</sup> LE CHÂTELIER, *C. R.* vol. 111, (1890), p. 123.

<sup>4</sup> FENNER, *J. Wash. Acad. Sc.*, 2, 471-480.

mation est réversible et, contrairement à ce que l'on a cru pendant longtemps, les minéralisateurs ne lui sont pas nécessaires.

*Quartz en cristobalite.*

D'après Endell et Rieke<sup>1</sup>, le passage du quartz à la cristobalite commence certainement à une température inférieure à 1000°. Cette transformation se fait avec une très grande lenteur; elle dépend de la grosseur des cristaux et des variétés de quartz. Un cristal de quartz, qui a subi dix chauffes à 1450°, est à peine transformé; pour le cristal réduit en poudre, la transformation est plus rapide.

Fenner prétend qu'au-dessus de 1470°, on n'obtient que de la cristobalite, tandis que Insley et Klein<sup>2</sup> affirment que le premier produit de transformation du quartz est toujours de la cristobalite et que celle-ci se transforme en tridymite après chauffage au-dessous de 1470°. Cette transformation est réversible.

*Tridymite en cristobalite.*

Cette transformation est plus lente que les précédentes. On peut obtenir de la cristobalite par chauffage de la tridymite à une température supérieure à 470°. Cette observation de Fenner est en contradiction avec celle de Le Châtelier, qui affirme que la forme la plus stable à toute température est la tridymite. Cet auteur a chauffé de la tridymite pendant 2 heures à 1700° sans discerner la moindre formation de cristobalite. Nous verrons que l'interprétation de nos résultats nous porte à nous rallier à l'opinion de Le Châtelier.

La transformation inverse, selon Foxwell, est extrêmement lente et cette lenteur augmente à mesure que la température baisse.

C. TRANSFORMATION DES FORMES CRISTALLISÉES EN FORMES AMORPHES.

On sait que, lorsqu'un corps présente plusieurs variétés cristallines ayant des stabilités différentes, le point de fusion le plus bas est celui de la variété la moins stable.

<sup>1</sup> ENDELL et RIEKE. *Z. f. anorg. Chem.* 79 (1912), 239-259.

<sup>2</sup> INSLEY et KLEIN. *Bur. standards. Techn. Pap.* 124 (1919).

Si l'échelle de stabilité de Fenner correspond à la réalité, la classification par ordre croissant des points de fusion doit se faire de la manière suivante:

1<sup>o</sup> Quartz      2<sup>o</sup> Tridymite      3<sup>o</sup> Cristobalite.

La détermination de ces points de fusion est chose délicate, en raison du passage possible pendant la fusion d'une forme dans une autre.

On admet, en général, que, dans la fusion du quartz, l'opération s'effectue assez rapidement pour qu'aucune modification appréciable n'ait le temps de prendre naissance. Nous verrons, dans nos conclusions, que ce point peut être discuté.

*Tridymite en silice vitreuse.*

Fergusson et Merwin<sup>1</sup> ont fixé à  $1670^{\circ} \pm 10^{\circ}$  cette température de transformation.

*Cristobalite en silice vitreuse.*

Les températures de transformation trouvées par Endell et Rieke, Fenner, Ferguson et Merwin, sont respectivement:  $1685^{\circ} \pm 10^{\circ}$ ,  $1625^{\circ}$ ,  $1710^{\circ} \pm 10^{\circ}$ . Ces écarts analogues à ceux du passage de la cristobalite  $\alpha$  à la cristobalite  $\beta$ , seraient selon Flusin une confirmation de la *théorie nouvelle de l'allotropie de Smits* et montreraient que la cristobalite se comporte comme une solution solide de deux composants.

D. TRANSFORMATION DES FORMES AMORPHES EN FORMES CRISTALLISÉES.

*Cristallisation de la silice vitreuse.*

On admet que la silice à l'état vitreux est amorphe, et l'on donne comme raison de cet état, le fait que, en se refroidissant, elle ne restitue pas sa chaleur de fusion. Ceci ne constitue du reste pas une preuve, car s'il y a formation pendant la fusion de tridymite, cette tridymite étant à l'état solide ne restituera pas sa chaleur de formation si elle reste cristallisée au sein de la matière amorphe.

<sup>1</sup> FERGUSON et MERWIN. *Am. J. Sc.* 46 (1918), 417-426.

Il est probable du reste que la quantité de tridymite fournie est une fonction du temps pendant lequel la silice est soumise à la fusion. On considère donc la silice vitreuse comme un liquide dont la viscosité serait presque infinie. Lord Rayleigh a montré que souvent on obtient de la silice vitreuse présentant des régions cristallines très nettes qui ne sont pas dues à la trempe mais à des résidus d'agréats cristallins de quartz que la fusion n'a pas complètement détruits et qui sont noyés dans la pâte amorphe. — Pour obtenir une silice parfaitement vitreuse la condition est de détruire toutes les parties cristallines. Elle est dans ce cas isotrope à moins que des tensions intérieures dues à la trempe ne fassent naître des régions anisotropes.

La suite de ce travail montrera quelques raisons qui permettraient de considérer la silice vitreuse et les verres comme des milieux pseudo-isotropes.

#### *Silice vitreuse en cristobalite.*

Une cuisson de quelques heures à  $1500^{\circ}$  suffit pour opérer cette transformation. Jusqu'à maintenant, on n'a observé aucun autre mode de dévitrification de la silice vitreuse. Selon Fenner, à des températures inférieures à  $1470^{\circ}$ , il se formerait toujours de la tridymite. Le Châtelier estime aussi que la cristallisation rapide de la silice fournit de la cristobalite et que la tridymite est le point final de cette transformation.

#### *Silice vitreuse en tridymite.*

Le Châtelier a effectué cette transformation en maintenant pendant vingt jours à  $800^{\circ}$  un cristal fondu à  $1350^{\circ}$ . Brun a transformé de la silice vitreuse en tridymite en la chauffant entre  $800^{\circ}$  et  $1000^{\circ}$  en présence de vapeurs de chlorures alcalins.

#### *Silice vitreuse en quartz.*

Cette transformation n'a pas encore été obtenue par la chaleur seule. Selon Day et Shepherd<sup>1</sup>, il est impossible de faire cette transformation à une température supérieure à  $800^{\circ}$ , ou suivant Fenner, supérieure à  $870^{\circ}$ .

<sup>1</sup> DAY et SHEPHERD. *Journ. Am. Chem. Soc.* 28 (1906), 1089-1114.

Day et Shepherd l'ont effectuée à  $760^\circ$  en présence du KCl, Brun, entre  $700^\circ$  et  $750^\circ$ , avec des chlorures alcalins; Endell à  $300^\circ$ , avec  $H_2O$  et  $NH_4F$ .

## CHAPITRE II

### Quelques remarques sur la théorie du mouvement sinusoïdal amorti.

On sait que le mouvement sinusoïdal amorti est représenté par l'équation différentielle classique:

$$A \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + K \frac{d\alpha}{dt} + W \alpha = 0 \quad (1)$$

et dont l'intégrale générale a la forme:

$$\alpha = a_1 e^{-kt} \sin(\omega t + a_2) .$$

Si l'on pose  $kt = \lambda$  on voit que l'amortissement des oscillations est d'autant plus rapide que  $\lambda$  est plus grand. On appelle  $\lambda$  en général décrement logarithmique des oscillations; il est défini par la relation:

$$\log_{\text{nat}} \left( \frac{\alpha_n}{\alpha_{n+1}} \right) = \lambda .$$

La pseudo-période est:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{A}{W - \left(\frac{K}{2A}\right)^2}}$$

Lorsque les amortissements ne sont pas considérables, c'est-à-dire lorsque l'on a affaire à de petits mouvements, le terme  $\left(\frac{K}{2A}\right)^2$  peut être supprimé et l'on a alors:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{A}{W}}$$

On montre aisément que dans le mouvement donné par la

relation (1) l'absorption d'énergie due à l'amortissement est exprimé par la formule

$$\Delta P = W \alpha^2 \lambda$$

où  $W$  est donné par

$$W = \frac{\pi r^4 G}{2l}$$

$r$  étant le rayon du fil et  $l$  sa longueur.

Dans le cas où le système oscillant est formé par deux fils placés dans le prolongement l'un de l'autre<sup>1</sup>, on peut calculer l'absorption d'énergie due à l'un des fils connaissant celle du système et celle de l'autre fil.

Soit

$$\Delta P_1 = W_1 \alpha^2 \lambda_1,$$

pour le système entier, et

$$\Delta P = W \alpha^2 \lambda$$

pour le fil de suspension. Pour le deuxième fil on a :

$$\Delta P_0 = \Delta P_1 - \Delta P$$

en outre

$$W_1 = W + W_0$$

$$\Delta P_1 = (W + W_0) \alpha^2 \lambda_1$$

$$\begin{aligned} \Delta P_0 &= (W + W_0) \alpha^2 \lambda_1 - W \alpha^2 \lambda \\ &= \alpha^2 [W (\lambda_1 - \lambda) - W_0 \lambda_1] . \end{aligned}$$

Si, comme dans nos expériences, le rapport  $\frac{\lambda}{\lambda_1}$  est très petit, on peut poser :

$$\Delta P_0 = \alpha^2 [W - W_0] \lambda_1 .$$

La valeur du rapport du décrement des deux fils  $\frac{\lambda}{\lambda_0}$  peut se déterminer en remarquant que l'on a :

$$\lambda T^2 = (\lambda + \lambda_0) T_0^2$$

d'où

$$\lambda (T^2 - T_0^2) = \lambda_0 T_0^2$$

<sup>1</sup> Une telle suspension pourrait s'appeler "bimonofilaire".

et

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{T_0^2}{T^2 - T_0^2}.$$

La variation thermique de  $\lambda$  est considérée comme mesure de la variation thermique du frottement intérieur dans les fils. Certains expérimentateurs<sup>1</sup> ont trouvé que le décrément est une fonction continue de l'amplitude des oscillations. — Or, il est certain que des torsions exercées sur des fils de diamètres variés ne sont comparables que si l'on tient compte des considérations suivantes.

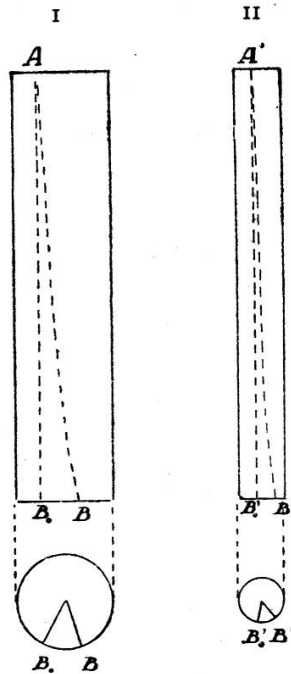


Fig. 2.

Dans toutes les déformations des solides, il faut considérer avant tout les déplacements relatifs que subissent les particules de matière lors des déformations.

Ainsi, envisageons deux cylindres de diamètres différents. Tordons les tous deux d'un même angle  $\alpha$ ; le point  $B_0$  vient en  $B$ , et  $B'_0$ , en  $B'$ . L'arc  $B_0B$  peut mesurer le déplacement relatif des particules  $A$  et  $B_0$ ; ce déplacement est plus grand dans le cas I que dans le cas II; par conséquent on est plus près dans le pre-

<sup>1</sup> En particulier MM. Ch.-E. Guye et Einhorn dans le travail sur le frottement intérieur des fils de Quartz aux basses températures *Archives*, Avril 1916.

mier cas de la limite d'élasticité que dans le deuxième. La chaîne des molécules constituant la génératrice  $A B_0$  subira un étirement plus considérable dans le premier cas que dans le second ( $A' B'_0$ ). Autrement dit, les torsions ne sont pas comparables au point de vue de leurs effets mécaniques, en dépit de l'égalité des angles  $\alpha$ .

Du reste, M. Bouasse a fait remarquer qu'une évaluation rationnelle des torsions ne peut se faire qu'en millièmes, c'est-à-dire en divisant la longueur du déplacement  $B_0 B'$  par la longueur du fil tordu.

Remarquons en outre que l'angle limite à partir duquel le décrement demeure constant ne peut être fixé d'une façon rigoureuse. Sa détermination dépend de la précision des moyens de mesure. En effet, dans la relation :

$$\log \left( \frac{\alpha_n}{\alpha_{n+1}} \right) = \lambda$$

$\alpha$  diminue à mesure que  $n$  augmente et l'erreur absolue sur  $\alpha$  produit une erreur relative  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$  qui va en augmentant avec  $n$ . Il résulte de là que toute étude rationnelle de la variation thermique du décrement doit être faite en restant constamment au-dessous de cet angle limite évalué d'une façon très approximative.

Dans nos expériences nous avons utilisé la même méthode que M. Ch.-E. Guye et ses collaborateurs dans des travaux analogues.

Le fil à étudier  $A C$  est tendu par l'intermédiaire d'un fil d'acier  $B D$  de 0,072 mm de diamètre. Le point  $F$  est fixe et  $A B$  constitue le système oscillant. On conçoit que ce système peut être animé d'un mouvement d'oscillations torsionnelles et de mouvements vibratoires transversaux, les points  $C D$  étant précisément des nœuds. Le premier genre de mouvement se produira si l'électro-aimant d'ébranlement du système a la position I et le second dans le cas où il a la position II. Ces mouvements parasites provoqués par un ébranlement défectueux du système oscillant peuvent entraîner des erreurs importantes sur la mesure du décrement. Supposons par exemple que l'oscillateur soit animé d'un mouvement de balancement suivant la

flèche autour des points AB (fig. 4). Si ce mouvement est en concordance de phase avec le mouvement torsionnel, l'image de la fente lumineuse S réfléchiée par le miroir MM se formera en N' au lieu de se former en N. Si dans l'enregistrement de l'oscillation suivante il y a discordance de phase le décrément mesuré sera trop grand. Il est clair que l'inverse peut se produire. D'une manière générale les mouvements vibratoires parasites seront provoqués d'autant plus aisément que la tension du fil est plus faible.

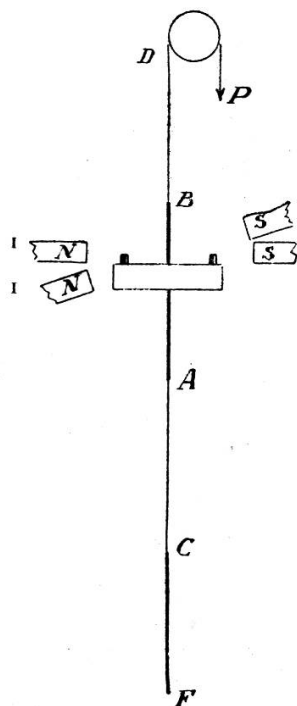


Fig. 3.

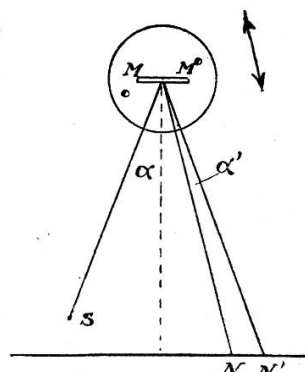


Fig. 4.

Le nombre des mémoires sur les propriétés élastiques des solides est considérable. A elle seule, l'étude de l'influence de la température sur les constantes élastiques a inspiré un grand nombre d'expérimentateurs ingénieux en raison de l'utilité pratique des résultats prévus. Toute cette littérature montre bien la complexité de la question, mais les renseignements qu'elle fournit sur la structure intime de la matière sont minimes en regard de l'effort dépensé.

Il nous semble que ces propriétés doivent être soumises avant tout à une étude comparative, car prétendre déterminer des constantes normales nous paraît une impossibilité en raison de la difficulté qui se présente dans la définition même de l'état

normal d'un corps solide. Tout au plus peut-on définir le traitement chimique et mécanique que l'on fait subir au corps.

Pour ce qui est des verres, nous ne sommes pas de l'avis que l'état recuit est un état limite intéressant parmi tous les états possibles mais qui ne devrait pas absorber l'attention. Il paraît en effet plus rationnel de considérer l'état de trempe comme un état anormal de la matière caractérisé (comme dans les larmes bataviques) par un faux équilibre, et au contraire l'état recuit dans lequel les tensions intérieures ont cessé, ou tout au moins diminué, comme plus normal. La préparation d'un matériel homogène est donc la condition même de toute étude comparative.

En outre, il paraît évident que l'on ne saurait systématiser des expériences par une loi générale que si les résultats sont basés sur un grand nombre d'observations afin d'éliminer les cas de structure particulière (recuit, trempe, écrouissage, etc.) qui se présentent inévitablement, comme accidents d'expériences.

Il est clair que, vu les différences de structure que présentent les échantillons, des déterminations de constantes élastiques faites avec une grande précision ne présentent aucune utilité. Seul le sens de leur variation sous l'influence des agents extérieurs offre quelque intérêt et peut permettre des interprétations rationnelles des expériences. Et là encore, si l'on voulait établir des rapports entre des variations de même nature on effectuerait un travail d'une utilité très problématique vu le grand nombre de variables qui déterminent la structure des corps solides.

Nous avons cru devoir rappeler ces faits afin de bien préciser le champ de recherches expérimentales dont il serait vain de s'écarter.

---

### CHAPITRE III

#### Description du dispositif expérimental.

##### 1. Four pour recuire les fils.

Le recuit des fils a été effectué dans un four en quartz à résistance de nickel (fig. 5). Un cylindre de quartz de 6 cm de diamètre et de 40 cm de longueur sert de support à un fil de nickel qui l'entoure. Une couverture de carton d'amiante M<sub>2</sub>

diminue les pertes de chaleur par rayonnement. Les bouchons B ferment le tube. Les fils sont disposés dans le tube intérieur  $T_2$ , également en quartz. Nous avons veillé à ce que la température fût aussi homogène que possible. Nous l'avons évaluée par un couple thermoélectrique platine-nickel que nous avons gradué. Des résistances placées dans le circuit nous permettaient de faire varier la température du four à volonté. Dans nos recuits,

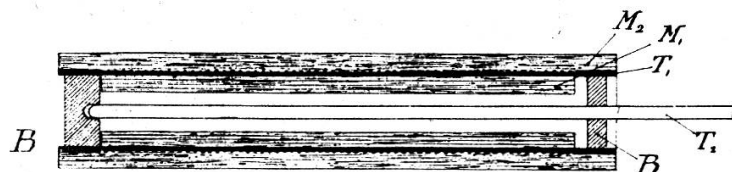


Fig. 5.

nous avons toujours augmenté progressivement la température et nous l'avons diminuée de même. Le refroidissement lent est nécessaire si l'on veut éviter les phénomènes de trempe qui auraient pour effet d'annuler l'influence du recuit. La température n'a jamais dépassé 800 degrés. Remarquons qu'il eut été peu logique de recuire le quartz à une température supérieure en raison des cristallisations possibles analogues à celles observées par M. Le Châtelier.

## 2. Appareils d'oscillation.

Cet appareil est le même que celui employé par M. Ch.-E. Guye et ses collaborateurs à des recherches analogues sur les métaux (fig. 6).

En principe, ce dispositif comprend deux tubes de laiton TT et T'T', le premier entourant le fil de suspension, le deuxième le fil à étudier. Entre deux est la cage de l'oscillateur munie d'une fenêtre de verre. Tout le système oscillant est tendu par le contre-poids P, par l'intermédiaire de la poulie V. Un cylindre entoure le tube TT; rempli d'eau, il maintient le fil de suspension à température constante. Le réservoir M rempli d'eau également assure une zone de refroidissement utile. Le tube inférieur est entouré d'un four amovible à résistance RR, suspendu par les crochets KK et fermé par les pièces LL. Des résistances placées dans le circuit nous permettaient de régler la température que nous évaluions au moyen d'un thermomètre à mercure. L'oscillateur muni des goupilles de fer GG était mis en

mouvement depuis l'extérieur par un électroaimant. L'appareil était suffisamment étanche pour que nous puissions faire un vide de 10 mm de mercure en moyenne. Tout le dispositif

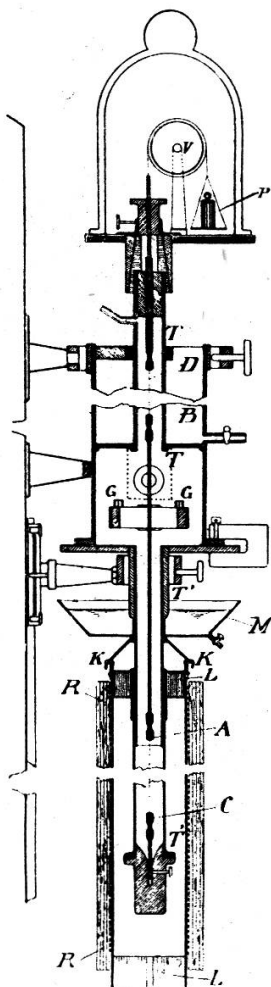


Fig. 6.

était solidement fixé à un mur extérieur afin d'éviter les trépidations pouvant perturber nos mesures. Dans quelques-unes de nos expériences, nous avons observé que le zéro se déplaçait de 5 à 10 mm lorsque nous faisons le vide dans l'appareil. Nous attribuons ces variations à de légères déformations du tube inférieur, déformations paraissant dues aux variations de pression. Dans ce cas, nous avons attendu, avant de faire les mesures, que le zéro ait pris une position invariable.

### 3. Dispositif d'enregistrement des oscillations.

Pour les fils de verre, la mesure du décrétement a été faite par la méthode de Poggendorf. La sensibilité de cette méthode

est amplement suffisante pour le but que nous poursuivions. Nous avons eu soin de choisir des fils de faible diamètre afin d'avoir des périodes assez grandes pour nous permettre les meilleures mesures possibles. Lorsque la période était de 7 secondes, nous pouvions évaluer le cinquième de millimètre de la règle. Par exemple, pour un décrement de 0,004345, une diminution de l'amplitude supérieure de  $\frac{1}{2}$  mm donne un décrement valant 0,00414 ce qui représente environ une erreur de 5 % seulement. Remarquons du reste que l'allure de la variation thermique du décrement nous intéressant seule, nous pouvions admettre des erreurs de cet ordre de grandeur. Pour chaque point nous avons fait 6 à 10 lectures ce qui assure une valeur du décrement très proche de la valeur exacte.

(A suivre.)

---