

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Auteur(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Publication : Laboratoire d'essais
Adresse	Paris : Conservatoire national des arts et métiers, 193.-195.
Nombre de volumes	125
Cote	CNAM-BIB P 1329-B et P 1329-C
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Note	La collection comporte des lacunes : n°24; n°58; n°63; n°67; n°76-n°77
Notice complète	https://www.sudoc.abes.fr/cbs//DB=2.1/SET=17/TTL=3/REL?PPN=261820893&RELTYPE=NT
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-B_P1329-C
LISTE DES VOLUMES	
	N°25 (1936)
	N°26 (1937)
	N°27 (1937)
	N°28 (1937)
	N°29 (1938)
	N°30 (1939)
	N°31 (1936)
	N°32 (1938)
	N°33 (1938)
	N°34 (1938)
	N°35 (1938)
	N°36 (1938)
	N°37 (1938)
	N°38 (1938)
	N°39 (1938)
	N°40 (1939)
	N°41 (1939)
	N°42 (1939)
	N°43 (1939)
	N°44 (1939)
	N°45 (1938)
	N°46 (1940)
	N°47 (1940)
	N°48 (1940)
	N°49 (1940)
	N°50 (1940)
	N°51 (1941)
	N°52 (1941)
	N°53 (1941)
	N°54 (1941)
	N°55 (1942)
	N°56 (1942)
	N°57 (1942)
	N°59 (1942)

	N°60 (1941)
	N°61 (1942)
	N°62 (1943)
	N°64 (1943)
	N°65 (1943)
	N°66 (1943)
	N°68 (1943)
	N°69 (1943)
	N°70 (1943)
	N°71 (1943)
	N°72 (1944)
	N°73 (1943)
	N°74 (1944)
	N°75 (1944)
	N°78 (1944)
	N°79 (1944)
	N°80 (1944)
	N°81 (1944)
	N°82 (1944)
	N°83 (1944)
	N°84 (1944)
	N°85 (1944)
	N°86 (1945)
	N°87 (1945)
	N°88 (1945)
	N°89 (1945)
	N°90 (1945)
	N°91 (1945)
	N°92 (1945)
	N°93 (1945)
	N°94 (1945)
	N°95 (1946)
	N°96 (1946)
	N°97 (1946)
	N°98 (1944)
	N°99 (1945)
	N°100 (1945)
	N°101 (1946)
	N°102 (1946)
	N°103 (1946)
	N°104 (1946)
	N°105 (1946)
	N°106 (1946)
	N°107 (1947)
	N°108 (1947)
	N°109 (1947)
	N°110 et 111 (1947)
	N° 112 (1947)
	N° 113 (1947)
	N° 114 (1947)
	N° 115 (1947)
	N° 116 (1947)
	N° 117 (1947)
	N° 118 (1948)
	N° 119 (1948)
	N° 120 (1948)
	N° 121 (1948)
	N° 122 (1947)

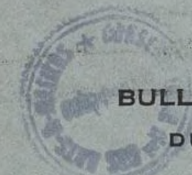
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	N° 123 (1948)
	N° 124 (1948)
	N° 125 (1948)
	N° 126 (1948)
	N° 127 (1948)
	N° 128 (1948)
	N° 129 (1948)
	N° 130 (1949)
	N° 131 (1949)
	N° 132 (1949)
	N° 133 (1948)
	N° 134 (1949)
	N° 135 (1948)
	N° 136 (1949)
	N° 137 (1950)
	N° 138 (1950)
	N° 139 (1950)
	N° 140 (1950)
	N° 141 (1950)
	N° 142 (1948)
	N° 143 (1950)
	N° 144 (1950)
	N° 145 (1951)
	N° 146 (1951)
	N° 147 (1951)
	N° 148 (1951)
	N° 149 (1951)
	N° 150 (1951)
	N° 151 (1951)
	N° 152 (1951)
	N° 153 (1952)
	N° 154 (1952)
	N° 155 (1952)

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Publication : Laboratoire d'essais
Volume	N° 123 (1948)
Adresse	Paris : Conservatoire national des arts et métiers, 1948
Collation	1 vol. (p. [303-308]) : ill. ; 28 cm
Nombre de vues	12
Cote	CNAM-BIB P 1329-C (29)
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Revue
Langue	Anglais Français
Date de mise en ligne	10/04/2025
Date de génération du PDF	07/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/039014541
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-C.29

...

8^e Rue 107

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
LABORATOIRE D'ESSAIS



BULLETIN
DU
LABORATOIRE D'ESSAIS
1948 - N° 30

PUBLICATION N° 123
(Voir le sommaire au verso)

SOMMAIRE

R. CABARAT — Contribution à la détermination des constantes
élastiques des matériaux par un procédé acoustique . . .
(*suite et fin.*)

BULLETIN DU LABORATOIRE D'ESSAIS

DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS & MÉTIERS

CONTRIBUTION A LA DÉTERMINATION DES CONSTANTES ÉLASTIQUES DES MATERIAUX PAR UN PROCÉDÉ ACOUSTIQUE. (Suite et fin.)

CHAPITRE V

APPLICATIONS DIVERSES (Suite)

Variation du module d'élasticité de l'« invar » en fonction de l'aimantation.

Les constantes d'élasticité des ferro-nickels dépendent de leur teneur en nickel et varient avec l'aimantation. Sur ces alliages, actuellement beaucoup utilisés dans l'industrie pour la construction d'émetteurs d'ultra-sons à magnétostriction, les études concernant ces modifications sont rares. Jusqu'à présent, les recherches faites dans ce domaine sont celles de R. HONDA, KIYOSI et

A titre d'exemple, nous avons étudié comment varie le module d'élasticité de l'invar en fonction de l'aimantation. D'autre part, l'étude de cet alliage n'a pas été faite par les auteurs précités.

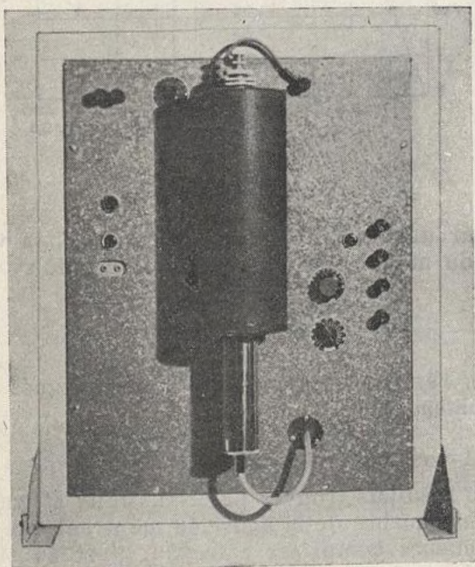
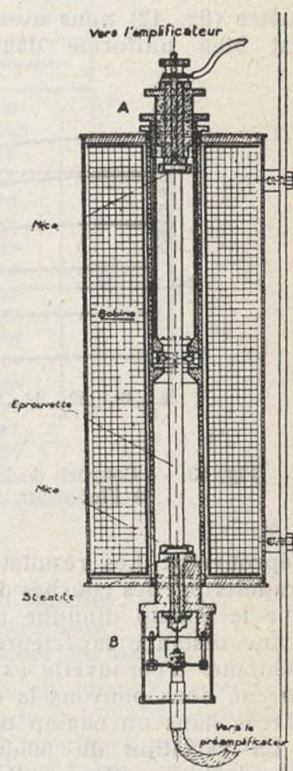


Fig. 41. — Vue et schéma du dispositif employé pour la mesure du module d'élasticité en fonction de l'aimantation.



NAKAMURA au Japon. Notre étude n'a pas été faite dans le but de vérifier les résultats de ces auteurs, mais de montrer que notre méthode peut être utilisée pour ce genre de recherche.

MÉTHODE ET APPAREIL.

La méthode consiste à montrer comment varie, en fonction de l'aimantation, la fréquence propre d'une éprouvette d'« invar ».

Le dispositif décrit précédemment est placé à l'intérieur d'une bobine et suivant son axe (fig. 41). La bobine, dont la carcasse est en laiton, est suffisamment longue pour que l'éprouvette soit soumise à un champ uniforme. Cette bobine

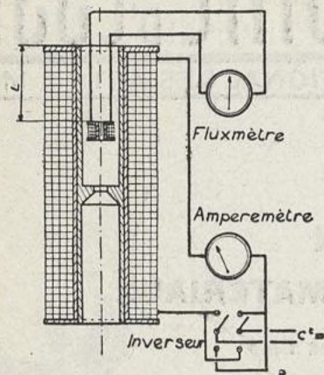


Fig. 42. — Montage pour l'étalonnage du champ magnétique.

a 30 cm de longueur et comporte 1 753 spires en fil de cuivre de 14/10 mm de diamètre; sa résistance est de 5,08 ohms.

En admettant une densité de courant de 3 ampères par mm², l'intensité admissible dans la bobine pour un échauffement négligeable serait de 4,5 ampères environ.

Cette intensité nous a permis d'obtenir un champ de 320 gauss.

A l'aide d'une bobine d'épreuve et d'un fluxmètre (fig. 42) nous avons vérifié que le champ est bien uniforme dans l'espace occupé par

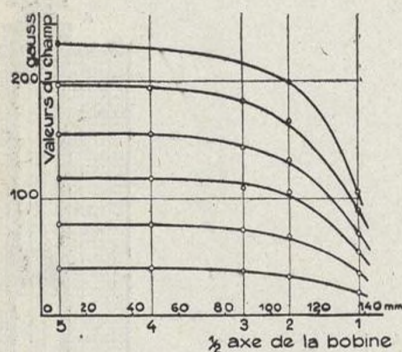


Fig. 43. — Courbes de la répartition du champ à l'intérieur de la bobine.

l'éprouvette. Les résultats de cette vérification, traduits par les courbes de la figure 43, montrent que le champ diminue notablement qu'à partir d'une distance supérieure à 10 cm de la partie médiane. L'éprouvette expérimentée n'ayant que 20 cm, nous pouvons la considérer comme étant placée dans un champ uniforme.

La variation du module étant généralement donnée en fonction de l'aimantation, nous avons dû déterminer les caractéristiques magnétiques de l'éprouvette d'Invar étudiée. Celles-ci sont définies par les courbes de la figure 44.

Ces mesures préliminaires étant faites, nous

avons étudié comment varie la fréquence propre de l'éprouvette en fonction du champ H.

L'éprouvette vibrait en oscillations forcées et la fréquence propre était lue à la résonance sur le cadran de l'oscillateur. La résonance était observée à l'aide d'un oscilloscope à rayons cathodiques.

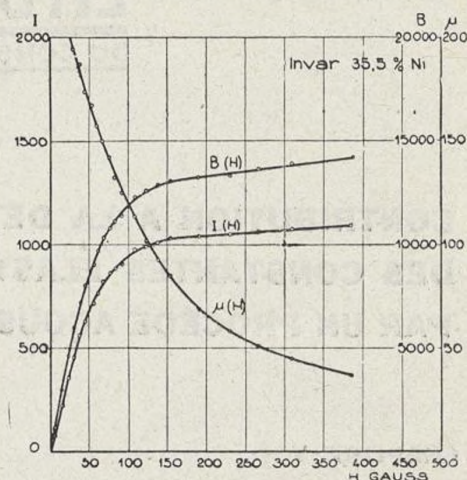


Fig. 44

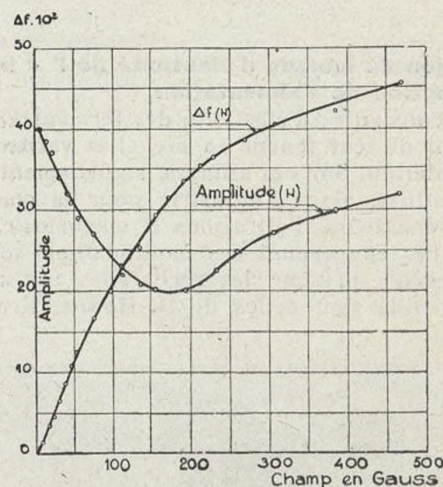


Fig. 45

Pour une variation de fréquence ΔF , la variation du module est donnée par la relation

$$\frac{\Delta E}{E} = 2 \frac{\Delta F}{F}$$

Les résultats des mesures sont indiqués dans le Tableau X.

RÉSULTATS DES MESURES.

Les résultats trouvés par NAKAMURA et traduits par les courbes de la figure 46 montrent que pour les teneurs comprises entre 30 % et 40 %, les lois de variation sont très différentes.

Pour une teneur de 30 % de nickel, le module d'élasticité ne varie presque pas, tandis que pour des teneurs en nickel supérieures à 40 %, $\Delta E/E$ varie notablement.

Pour l'invar, la courbe $\Delta E/E(1)$ se trouve pla-

cée dans une zone telle que la variation du module pour une aimantation donnée augmente avec la teneur en nickel.

— Durant nos mesures, nous avons remarqué sur l'écran de l'oscilloscope, une anomalie caractérisée par une diminution de la tension mi-

L'invar a, comme en général tous les ferro-nickels réversibles, des constantes élastiques qui augmentent avec l'aimantation. L'examen des courbes de NAKAMURA montre, dans le cas des ferro-nickels irréversibles, une légère diminution de ces constantes.

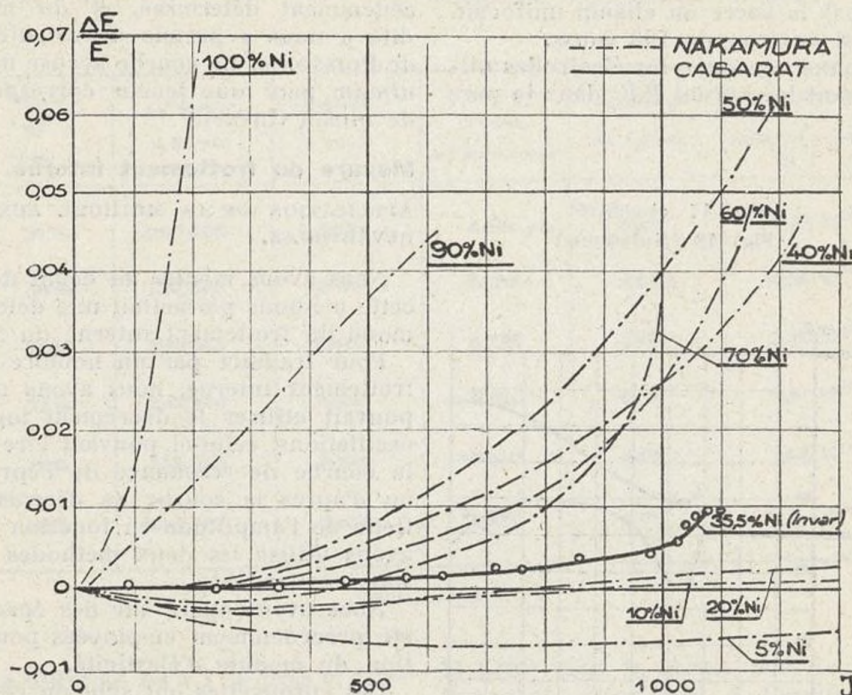


Fig. 46

Invar (35,5%Ni) - Fréquence propre : 9 000,1 périodes par seconde				
H	I	ΔF	10 ³ $\frac{\Delta E}{E}$	Amplitude
7,7	75	1,3	0,29	40
15,4	224	3,3	0,73	38,5
23,1	353	4,3	0,855	37
30,8	464	6,6	1,47	34
38,5	560	8,7	1,93	32
46,2	626	10,7	2,33	31
61,5	768	12,7	2,82	29
77	860	16,7	3,72	27
92,2	903	18	4	25
123	990	21	4,66	22
138,5	1008	25	5,55	21
154	1034	29,5	6,65	20
192	1038	33,4	7,42	20
231	1042	36	8,01	22,5
268	1062	38	8,45	25
308	1082	40,6	9	27
384	1100	42	9,4	30

TABLEAU X

crophonique pour des valeurs du champ comprises entre 50 et 250 gauss (fig. 45). Cette diminution de l'amplitude peut être due soit à une augmentation du frottement interne pour ces valeurs du champ, soit à un léger raccourcissement de la barre dû à l'effet VILLARI.

Cette dernière hypothèse ne peut être retenue car une diminution de longueur aurait eu comme effet d'entraîner une augmentation notable de la fréquence. L'examen de la courbe $\Delta F(H)$ n'accuse pas cette variation de fréquence.

Mesure du module de rigidité des ferro-nickels réversibles en fonction de la teneur en nickel.

Nous avons indiqué au chapitre premier le principe de la mesure du module de rigidité par la détermination de la fréquence propre des vibrations de torsion d'une barre, lesquelles sont engendrées par l'effet WIEDEMANN.

Pour obtenir une amplitude appréciable de l'oscillation de torsion, nous avons dû amplifier considérablement la puissance fournie par notre

générateur B.F. Un amplificateur de 35 watts nous a permis de faire circuler, dans la moitié supérieure de l'éprouvette, un courant de deux ampères.

L'éprouvette est maintenue verticalement suivant l'axe d'une longue bobine produisant dans l'espace occupé par la barre un champ uniforme dont la valeur est environ de 100 gauss.

La figure 47 donne en coupe les électrodes utilisées, l'une amenant le courant B.F. dans la par-

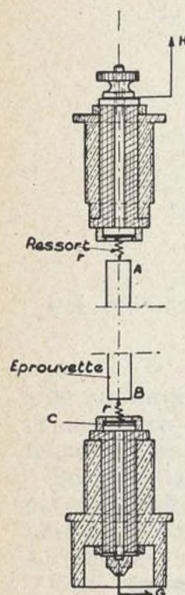
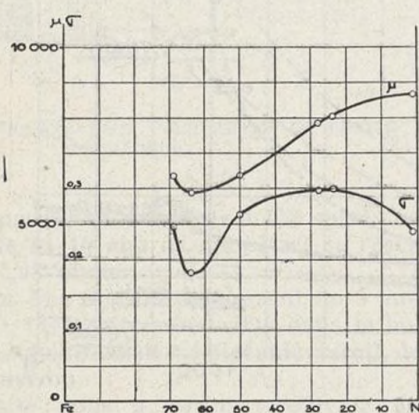


Fig. 47 (ci-contre)
Fig. 48 (ci-dessous)



tie supérieure de l'éprouvette, l'autre recueillant la force électro-motrice engendrée dans la moitié inférieure.

Le contact est assuré par un ressort cylindrique en cuivre exerçant une pression très faible sur l'extrémité de l'éprouvette, et suivant son

Le Tableau XI donne les résultats de nos mesures et les courbes (fig. 48) indiquent la variation du module de rigidité μ de certains ferro-nickels réversibles en fonction de la teneur en nickel.

La connaissance du module d'élasticité E , précédemment déterminé, et du module de rigidité μ , nous a permis de calculer le coefficient de Poisson σ . La courbe accuse nettement un minimum pour une teneur correspondant à 35 % de nickel (Invar).

Mesure du frottement interne.

APPLICATION DE LA MÉTHODE AUX FERRO-NICKELS REVERSIBLES.

Nous avons montré au début de ce travail que cette méthode permettait une détermination commode du frottement interne du matériau étudié.

Pour traduire par un nombre la grandeur du frottement interne, nous avons montré que l'on pouvait utiliser le décrément logarithmique des oscillations, celui-ci pouvant être calculé d'après la courbe de résonance de l'éprouvette étudiée, ou d'après la courbe de décroissance exponentielle de l'amplitude en fonction du temps. Nous avons utilisé les deux méthodes et les résultats sont concordants.

Nous avons opéré sur des éprouvettes qui ont été précédemment employées pour la détermination du module d'élasticité.

Ces éprouvettes ont subi un recuit à la température de 800° pendant deux heures environ afin que leur état physico-chimique et structural soit bien défini.

Les résultats obtenus sont indiqués dans le Tableau XII. La figure 27 montre pour l'invar la courbe de résonance et la photographie donne la courbe d'amortissement relevée sur l'oscillographe BAUDOUIN (fig. 21).

Teneur en nickel	Longueur à 20°C	Densité à 20°C	Fréquence propre en vibration longitudinale f_1	Fréquence propre en vibration de torsion f_2	Module d'élasticité $E = \frac{4L^3 f_1^2}{9,81}$	Module de torsion $\mu = \frac{4L^3 f_2^2}{9,81}$	Coefficient de Poisson $\sigma = \frac{E}{2f_2^2} - 1$
31%	250,295	8,021	8790 p/s	5565 p/s	15 828,6	6 344,5	0,247
36%	238,268	8,120	8590	5590	13 870	5 873	0,180
50%	250,383	8,179	8767	5515	16 069,7	6 357,4	0,264
72%	250,248	8,450	9767	6055	20 535	7 908,7	0,298
76%	239,793	8,499	10 320	6380	21 231,1	8 123,3	0,300
99%	245,247	8,839	9946	6320	21 436,4	8 657,3	0,238

TABLEAU XI

axe. Dans ces conditions, la résistance mécanique offerte par les électrodes à l'oscillation de torsion est négligeable.

Nous avons, par ce procédé, mesuré la fréquence propre de plusieurs éprouvettes en alliage fer-nickel et calculé leur module de rigidité.

Pour une teneur en nickel de 32 %, le décrément logarithmique calculé d'après la courbe de résonance est :

$$\delta = \pi \frac{dF}{F_0} = \frac{\pi 1,2}{9 002,5} = 4,2 \cdot 10^{-4}$$

La constante de temps déduite de la courbe d'amortissement est de 0,27 seconde. Le décrément logarithmique qui est égal au quotient de la période par la constante de temps est :

$$\delta = \frac{1}{9\,002,5 \times 0,27} = 4,08 \cdot 10^{-4}$$

remarque que le décrément passe par un maximum pour la teneur de 36. C'est-à-dire celle de l'invar pour lequel on a : $\delta = 15,55 \cdot 10^{-4}$. Puis le décrément diminue, passe par un minimum pour 72 % de nickel où on trouve : $\delta = 4,4 \cdot 10^{-4}$. Pour des teneurs supérieures en nickel le décrément augmente rapidement et atteint la valeur de :

Teneur en nickel	Longueur à 20°C	Densité à 20°C	Fréquence propre de l'éprouvette	Constante de temps	Décrément logarithmique δ
31%	250,295	8,021	8 814 p/s	0,27	$4,23 \cdot 10^{-4}$
36%	238,268	8,120	8 597	0,075	$15,55 \cdot 10^{-4}$
50%	250,383	8,179	8 775	0,125	$9,35 \cdot 10^{-4}$
72%	250,248	8,450	9 750	0,23	$4,4 \cdot 10^{-4}$
76%	239,793	8,499	10 216	0,19	$5,02 \cdot 10^{-4}$
99%	245,247	8,839	9 875	0,04	$25,3 \cdot 10^{-4}$

TABLEAU XII

Ces résultats ne diffèrent qu'à 3 % près et confirment que les deux méthodes peuvent pratiquement être utilisées pour la mesure du frottement interne.

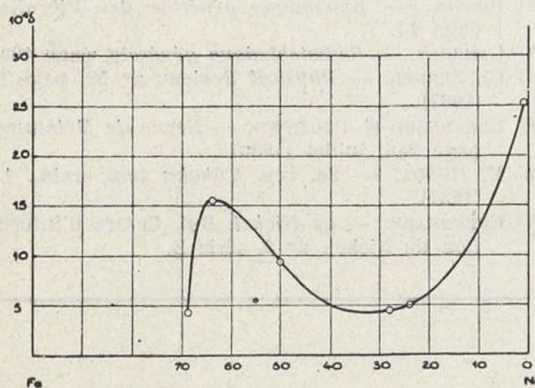


Fig. 49

La courbe (fig. 49) représente la variation du décrément en fonction de la teneur en nickel. On

CONCLUSION

Le procédé de mesure que nous avons décrit est le résultat d'un long travail. Il a été conçu dans le but d'en faire dans la pratique l'auxiliaire du physicien et de l'ingénieur pour leur permettre de mesurer avec précision les constantes élastiques et le frottement interne des matériaux. Ces mesures présentent un grand intérêt aussi bien du point de vue des applications industrielles que du point de vue de la théorie de l'état solide.

25,3 $\cdot 10^{-4}$ pour le nickel pur. La courbe d'amortissement enregistrée à l'oscillographe montre que l'on peut mesurer la constante de temps avec une précision de l'ordre de $5 \cdot 10^{-3}$. La fréquence étant définie avec une précision de 10^{-3} , l'erreur relative dans la mesure du décrément est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-3}$.

La courbe d'amortissement analysée montre que l'on peut la considérer comme exponentielle. Cette remarque prouve que l'amortissement est indépendant de l'amplitude : ce qui permet de conclure que, pour de petites amplitudes, on peut considérer l'amortissement comme une constante d'état des matériaux.

Dans d'autres procédés utilisés couramment dans la technique de la mesure de l'amortissement, les corps étudiés sont soumis à des efforts beaucoup plus importants et, dans ce cas, le frottement interne varie considérablement avec l'amplitude.

Enfin, nous avons constaté que les résultats obtenus par cette méthode sont en bon accord avec ceux trouvés par M. CHEVENARD et son école dont on connaît les remarquables travaux.

Nous avons donné par des exemples quelques applications de cette méthode. La connaissance du module d'élasticité aux températures élevées est indispensable pour la détermination des organes de machines devant présenter à ces températures de sérieuses garanties.

Dans le domaine physique, ce système d'entretien permet la mesure des constantes élastiques des matériaux aux basses températures, car il suf-

fit de placer, dans un vase de DEWAR, le tube supportant l'éprouvette.

Par ce procédé de mesure des variations des constantes élastiques et du frottement interne, nous donnons la possibilité de révéler avec une sensibilité très grande les modifications qui peuvent se produire dans la matière solide, en fonction de certains paramètres physiques (température, aimantation, temps, etc...).

D'autre part, ce procédé présente sur la méthode statique ordinaire l'avantage de pouvoir faire toutes ces déterminations sans détériorer, ni même altérer l'éprouvette étudiée.

Nous signalerons également que ce dispositif auto-entretenu, placé dans une enceinte à température constante, constitue un oscillateur d'une grande stabilité dont la fréquence est définie par la longueur de la barre.

Je remercie bien vivement les *Manufactures des glaces et produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Cirey*, la *Société l'Aluminium Français* et les *Aciéries d'Imphy* qui m'ont fourni gracieusement les éprouvettes que j'ai utilisées dans ce travail.

R. CABARAT.

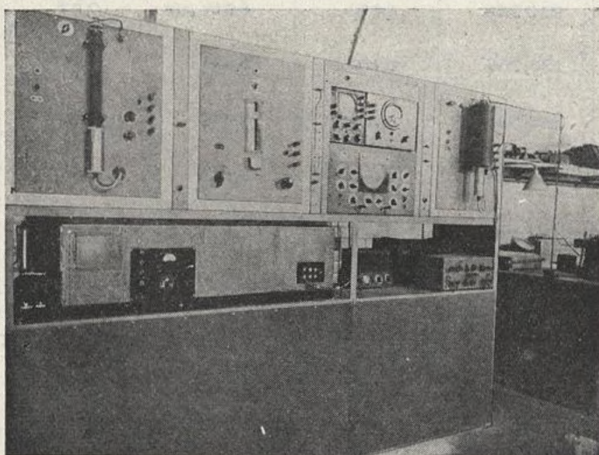


Fig. 50. — Vue d'ensemble de l'installation.

Bibliographie

- [1] W. T. COOKE. — *Physical Review*, Vol. 50, page 1158 (1936).
- [2] K. NAKAMURA. — *Z. Physik*, n° 94, page 107 (1935).
- [3] BOUSSE. — *Verges et Plaques*, pages 4 et 5.
- [4] GRIVET. — *C. R.* 213, pages 231 (1944).
- [5] CABARAT. — *C. R.* 217, pages 229-230 (1943).
- [6] OLLIVIER. — *Physique générale*, Tome 1, page 251.
- [7] GRUNEISSEN. — *Ann. d. Physik*, Vol. 22, page 842 (1907).

- [8] ROCARD. — *Dynamique générale des Vibrations*, page 13.
- [9] LAMBREY. — *Radiotechnique générale*, page 400.
- [10] CL. ZENNER. — *Physical Review*, n° 52, page 230 (1937).
- [11] CHEVENARD et PORTEVIN. — *Revue de Métallurgie*, page 246, juillet (1930).
- [12] K. HONDA. — *Sc. rep. Tôhoku imp. univ.*, 1-37 (1937).
- [13] CHEVENARD. — *Le Nickel*. Bul. Centre d'Information du Nickel, n° 3, série B.



f
-
e
r
s
e
s

THE HISTORY OF THE
CITY OF BOSTON
FROM THE FIRST SETTLEMENT
TO THE PRESENT TIME
IN TWO VOLUMES
BY NATHANIEL BENTLEY
VOL. II.



THE HISTORY OF THE
CITY OF BOSTON
FROM THE FIRST SETTLEMENT
TO THE PRESENT TIME
IN TWO VOLUMES
BY NATHANIEL BENTLEY
VOL. II.

