

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](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 possible 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&RELTYP=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)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	N° 120 (1948)
	N° 121 (1948)
	N° 122 (1947)

	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° 120 (1948)
Adresse	Paris : Conservatoire national des arts et métiers, 1948
Collation	1 vol. (p. [293-301]) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	16
Cote	CNAM-BIB P 1329-C (28)
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.28

Note de présentation du

...

8^e Rue de l'Off

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
LABORATOIRE D'ESSAIS



BULLETIN
DU
LABORATOIRE D'ESSAIS
1948 - N° 29

PUBLICATION N° 120
(Voir le sommaire au verso)

SOMMAIRE

R. CABARAT — Contribution à la détermination des constantes
élastiques des matériaux par un procédé acoustique . . .
(à suivre)

BULLETIN DU LABORATOIRE D'ESSAIS DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS & MÉTIERS



CONTRIBUTION A LA DÉTERMINATION DES CONSTANTES ÉLASTIQUES DES MATERIAUX PAR UN PROCÉDÉ ACOUTIQUE. (Suite)

CHAPITRE III

DESCRIPTION DES APPAREILS UTILISÉS (Suite)

5° Le générateur basse fréquence.

La construction du générateur basse fréquence a été réalisée pour remplir les conditions suivantes :

- 1° Stabilité de la fréquence;
- 2° Constance de l'amplitude;
- 3° Précision de réglage maximum;
- 4° Gammes de fréquences suffisantes pour l'étude d'éprouvettes de 100 à 250 mm de longueur;
- 5° Utilisation du réseau comme source d'énergie;
- 6° Possibilité d'utiliser du courant alternatif ou du courant continu.

inférieure à deux périodes par seconde pour une fréquence propre de 10 000 p.p.s., A_0 étant l'amplitude maximum de la vibration. Il est donc nécessaire que, pour de tels matériaux, la stabilité en fréquence du générateur soit grande.

Pour satisfaire à cette condition de stabilité, nous avons dû réduire au minimum l'importance des phénomènes qui sont l'origine des variations de fréquence d'un générateur à lampe.

L'influence de la lampe oscillatrice a été réduite au minimum par l'observation des précautions suivantes :

- 1° Emploi d'un tube à grande résistance interne et à grand coefficient d'amplification;
- 2° Utilisation d'un circuit oscillant à grand

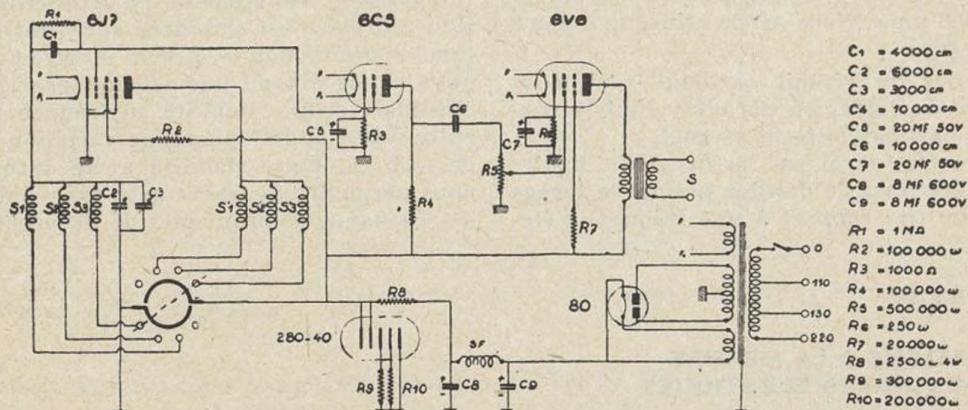


Fig. 22

Les deux premières conditions s'imposent car dans la plupart des matériaux l'acuité de la courbe de résonance est telle que l'intervalle des fréquences correspondant à la valeur $A_0/\sqrt{2}$ est

coefficients de surtension Q; valeur élevée du quotient C/L.

Ces considérations sont mises en évidence par l'expression :

$$\alpha = \frac{\Delta\Omega}{\Omega} = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{C}{L}} \frac{\delta P}{2P^2}$$

3° Suppression du courant grille par l'emploi d'une résistance d'auto-polarisation élevée;

4° Emploi de sources de tension très stables.

Le montage adopté (fig. 22) est classique. Le circuit oscillant est placé dans le circuit grille et le bobinage de réaction dans le circuit plaque de la lampe oscillatrice qui est une 6J7. La tension basse fréquence engendrée est amplifiée par

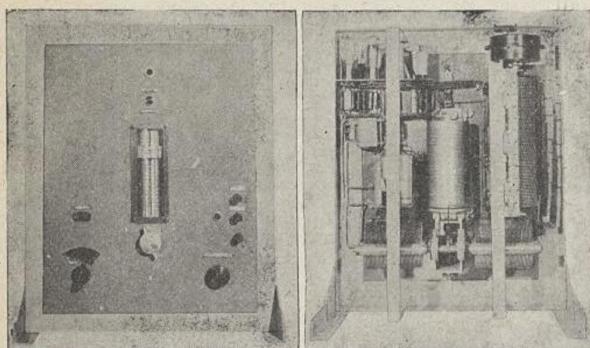


Fig. 28. — Vues du générateur.

une 6C5 reliée par résistance et capacité à une 6V6. Un potentiomètre placé dans le circuit de grille de la 6V6 permet d'obtenir aux bornes du transformateur de sortie une tension dont la valeur peut être comprise entre 0 et 40 volts.

Les bobinages du circuit oscillant sont à noyaux de fer divisé et le coefficient de surtension mesuré pour une fréquence de 10.000 p.p.s. est 250 environ.

Trois bobines de self dont les coefficients de self sont respectivement 0,25 — 0,0625 — 0,0156 henry permettent, avec des capacités variables dans l'air de 4 000 cm, de réaliser les gammes de fréquences — 4 500 à 9 000, 9 000 à 18 000 et 18 000 à 36 000 p.p.s. Nous avons utilisé la gamme 9 000-18 000 p.p.s.

Les capacités du circuit oscillant sont deux condensateurs variables en parallèle dont la construction est particulièrement soignée.

L'un nous a été fourni par les *Ets Belin*, l'autre par les *Ets Wireless*. Ce dernier permet le tarage de l'oscillateur par rapport à une fréquence éta-

lon de 1 000 p.p.s. fournie par le *Laboratoire National de Radioélectricité*.

La lecture de la fréquence est faite sur le tambour du condensateur « *Belin* ». Ce condensateur de haute précision (fig. 23) comprend deux parties symétriques. Le stator et le rotor sont constitués par des lames en aluminium de 20/10 mm d'épaisseur montées sur des axes donnant à l'ensemble une grande rigidité mécanique.

Le stator est isolé par des rondelles de quartz. Le mouvement du rotor est commandé par une démultiplication de 1/40 à rattrapage automatique de jeu. La lecture de la fréquence est faite sur un tambour gradué en hélice dont la rotation est proportionnelle à celle du rotor. La longueur développée de l'hélice est de 6 mètres, pour un déplacement angulaire du rotor de 180°. Dans ces conditions, la lecture de la fréquence peut être faite avec une grande précision. Dans la gamme des fréquences utilisées 9 000-18 000, la rotation

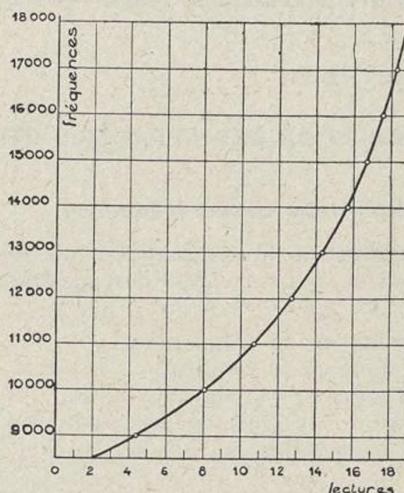


Fig. 24

du tambour est approximativement de 1,5° par période (fig. 24).

L'appareil est alimenté en alternatif et la tension redressée est stabilisée après filtrage par un tube « *Stabilovolt* » *L.M.T.* Avec ce générateur nous avons obtenu une tension pratiquement sinusoïdale et une stabilité en fréquence comprise entre $5 \cdot 10^{-4}$ et 10^{-5} pour une variation du secteur de $\pm 2\%$. Cette stabilité a été suffisante pour nous permettre de tracer avec précision la courbe de résonance d'éprouvettes de différentes natures.

CHAPITRE IV

APPLICATIONS A LA MESURE DES CONSTANTES ÉLASTIQUES

Nous avons commencé par appliquer cette méthode à la détermination du module d'élasticité E et du module de torsion μ de certains matériaux conducteurs. Les mesures ont été faites à la température ordinaire sur des éprouvettes cylindriques de 7 à 10 mm de diamètre et 200 à 250 mm de longueur. Le tableau ci-après résume les résultats obtenus pour des conducteurs :

	Laiton 60 % Cu	Aluminium du Commerce	Acier dur
E kg/mm ²	10 290	7 590	20 900
μ kg/mm ²	3 760	2 880	7 950
Coefficient de POISSON.	0,368	0,300	0,314

Nous avons également vérifié si la méthode s'applique commodément aux matériaux non conducteurs. Pour produire des vibrations dans ces éprouvettes, nous les avons rendues conductrices en les recouvrant d'un enduit conducteur. Nous avons utilisé pour le plexiglas l'aluminure par évaporation, et pour les verres l'argenture chimique qui est plus rapide et plus simple. Les premières expériences faites ont donné :

	Cristal	Pyrex	Verre G. 702P	Plexiglas
E kg/mm ²	5 990	7 010	6 250	565

avec une erreur relative de $5 \cdot 10^{-4}$, la précision dans les mesures de E et μ est de l'ordre de $\pm 0,07\%$.

La mesure du module de torsion μ a été faite en utilisant la méthode décrite au début de ce travail. On utilise pour l'excitation et la mesure des vibrations de torsion une petite plaque soude suivant un diamètre à chaque extrémité de l'éprouvette. Deux électrodes ajustables en regard des plaques jouent le rôle des électrodes A et B du montage décrit pour la production des vibrations longitudinales dans l'éprouvette.

Nous avons tracé pour chacun de ces matériaux la courbe de résonance. Les figures 25, 26,

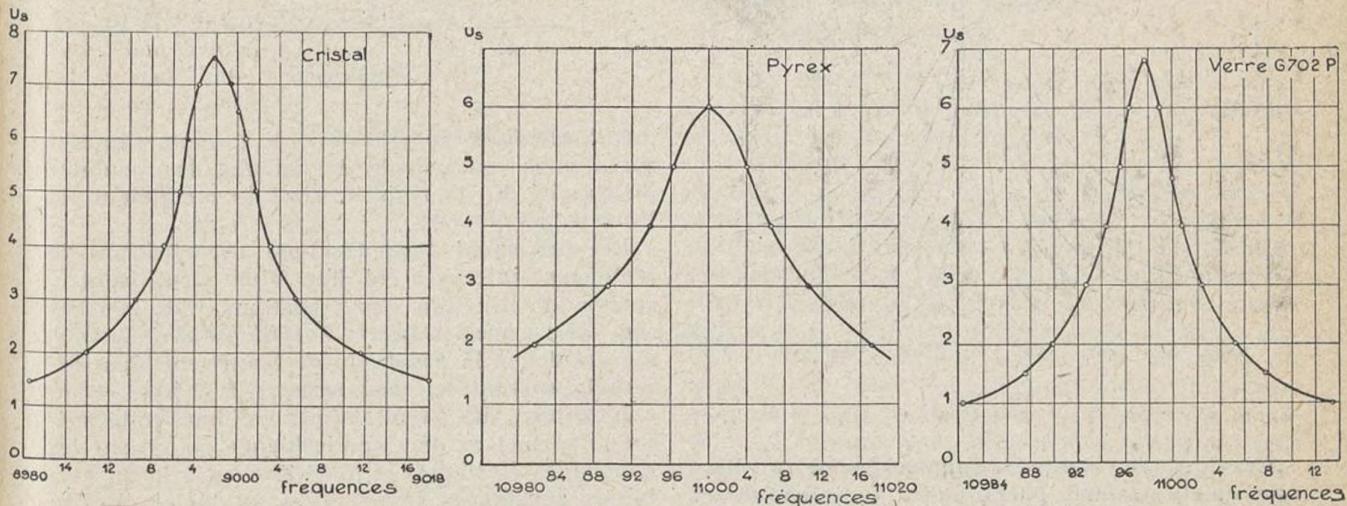
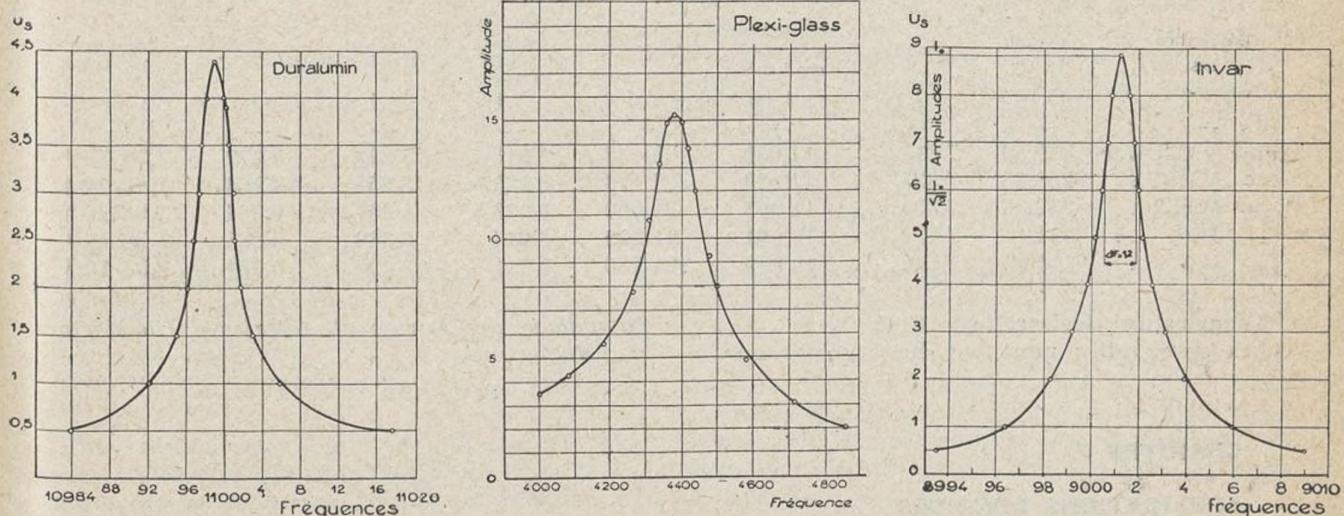


Fig. 25, 26, 27, 28, 29 et 30.



Ces premières mesures nous ont permis de vérifier que les résultats trouvés par cette méthode correspondent à ceux trouvés par des méthodes statiques, et de s'assurer qu'elle est particulièrement fidèle.

Nous avons pu constater que la précision obtenue est très grande. En effet, la fréquence propre peut être déterminée à ± 1 période (soit une erreur relative de $1 \cdot 10^{-4}$). La longueur de l'éprouvette étant déterminée à ± 5 microns (soit une erreur relative de $2 \cdot 10^{-5}$) et la densité

27, 28, 29, 30 montrent que l'acuité des courbes ainsi obtenues est particulièrement grande pour les métaux.

Pour mettre en évidence les différentes valeurs du frottement interne dans ces matériaux, nous avons, en modifiant par meulage la longueur des éprouvettes, tracé pour une même amplitude les courbes de résonance rapportées à une même fréquence de résonance (fig. 31).

Nous avons eu l'occasion de mesurer les constantes élastiques d'échantillons d'acier au nickel

dont les résultats de l'analyse chimique sont donnés dans le tableau suivant :

TABLEAU I

Désignation des éprouvettes	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
Acier	—	—	—	—	—	—	—
V.C.S.4	0,22	0,31	0,43	0,10	0,012	0,94	4,33
V.I.R.	0,36	0,3	0,53	0,008	0,014	1,67	3,73
M.H.2	0,185	0,25	0,40	0,01	0,01	0,73	2,58
H.P.	0,31	0,45	0,52	0,004	0,021	1,06	3,82
C.N.4	0,44	0,30	0,37	0,012	0,036	0,80	2,69

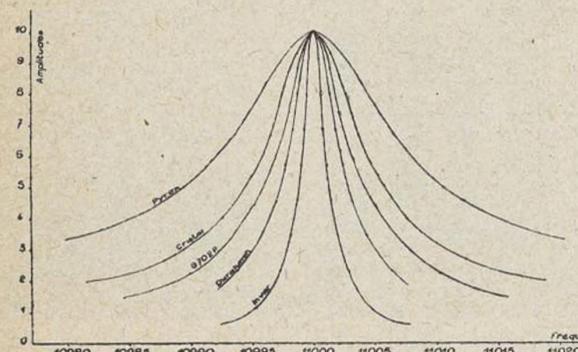


Fig. 31

Ces éprouvettes ont été soigneusement rectifiées afin qu'elles soient parfaitement cylindriques et que leur longueur soit bien définie.

Pour enlever toute trace d'écrouissage superficiel, nous les avons placées dans un four et soumises pendant deux heures à une température de 850° C.

C'est après un refroidissement lent que nous avons mesuré leur fréquence propre en vibration

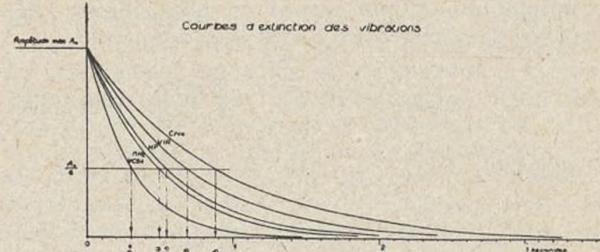


Fig. 32

longitudinale et en vibration de torsion. Ces mesures nous ont permis de calculer les modules d'élasticité E, de rigidité μ , et le coefficient de POISSON σ .

Le décrément logarithmique caractérisant le frottement interne a été déterminé en utilisant la courbe d'extinction des vibrations. Ces courbes (fig. 32), enregistrées à l'oscillographe Dubois, montrent que la constante de temps est bien différente suivant la composition du métal.

L'examen des résultats prouve que cette méthode permet de déceler l'influence qu'ont sur les constantes élastiques et le frottement interne, certaines substances incorporées au métal et d'en mesurer avec précision les effets (voir tableau II).

TABLEAU II

Désignation des éprouvettes	Longueur en mm	Densité	Fréquence propre en vibration longitudinale	Module d'élasticité E	Fréquence propre en vibration de torsion	Module de rigidité	Coefficient de POISSON	Décrément logarithmique
Acier V.C.S.4..	229,56	7,815 ₅	11 030	20 437	6 915	8 029	0,272	3,28 10 ⁻⁴
— V.I.R. ..	238,8	7,823 ₇	11 020	21 174	6 923,5	8 358	0,266	1,42 10 ⁻⁴
— M.H.2 ..	232,85	7,839 ₀	11 008	21 000	6 923,5	8 307	0,264	1,98 10 ⁻⁴
— H.P. ...	234,4	7,828 ₂	11 001	21 223	6 914	8 383	0,265	1,76 10 ⁻⁴
— C.N.4 ..	234,92	7,846 ₃	10 979	21 280	6 911	8 432	0,261	1,08 10 ⁻⁴

Température de la salle : 18° C.

Les éprouvettes nous ont été fournies par la

Compagnie des Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt.

CHAPITRE V

APPLICATIONS DIVERSES

Etudes simultanées du durcissement structural et de la variation du module d'élasticité (alliage Al-Cu après trempe).

Le durcissement structural est un phénomène connu dont nous rappellerons sommairement les caractères principaux.

On sait qu'un alliage est susceptible de durcissement structural quand sa constitution est différente à chaud et à froid.

Considérons un métal A dans lequel une petite

proportion d'un métal B peut se dissoudre. Si la limite de solubilité croît avec la température (fig. 33), un alliage de composition C homogène, au-dessus d'une température T, se décompose en dessous, en deux phases : l'une composée d'un métal A, presque pur; l'autre étant une phase précipitée riche en B. Tel est l'état auquel on aboutit après un refroidissement lent pour que, à chaque instant, l'équilibre puisse être atteint.

Si, au contraire, on refroidit brusquement l'alliage par trempe à partir d'une température su-

périeure à T_0 , une phase unique subsiste à la température ambiante; mais c'est un état métastable et l'alliage évolue avec le temps. Cette évolution, qui sera d'autant plus rapide que la température de « revenu » sera élevée, mais bien inférieure à T_0 , se traduit par un changement des propriétés mécaniques : l'alliage durcit et son élasticité varie.

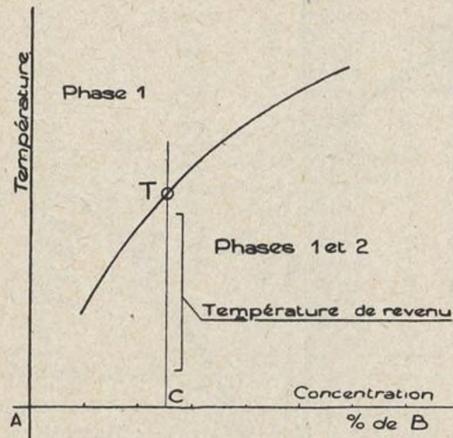


Fig. 33

Pour étudier cette évolution, nous avons utilisé un alliage aluminium-cuivre à 3,5 % de cuivre. Cet alliage se présentait après usinage, sous forme de barres cylindriques de 250 mm de lon-

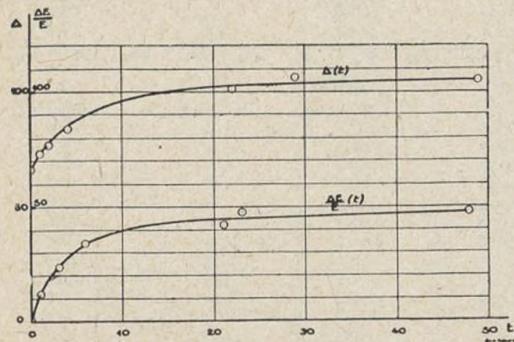


Fig. 34

gueur et de 10 mm de diamètre. Ces éprouvettes ont été chauffées à une température de 500° C et maintenues pendant deux heures à cette température, de manière à dissoudre le cuivre aussi bien que possible. Pour fixer cet état stable à chaud, nous avons effectué une trempe énergique à l'eau.

Deux éprouvettes ont été utilisées, et nous avons déterminé simultanément sur l'une la variation de sa fréquence propre en fonction du

temps, et sur l'autre la dureté. Cette dernière grandeur a été définie à l'aide d'une machine Rockwell. La dureté indiquée dans le Tableau III donne la moyenne de 6 mesures faites suivant une génératrice de l'éprouvette. A l'aide des tables fournies par le constructeur, nous avons converti nos mesures de dureté Rockwell, en unités Brinell.

L'examen des courbes de la figure 34 montre que les lois de variation de la dureté et du module d'élasticité sont identiques, mais que le module d'élasticité varie dans de faibles limites.

Variation du module d'élasticité des ferro-nickels en fonction de la température.

Cette méthode a l'avantage de se prêter commodément à l'étude des variations du module d'élasticité E avec la température.

Il suffit de placer le dispositif, précédemment décrit au chapitre I, dans un thermostat formé par un four électrique qui l'entoure. Pour chaque mesure de la fréquence propre, la température est déterminée au moyen de couples thermoélectriques. La figure 35 montre en coupe le dispositif utilisé. L'élément chauffant est constitué par du fil RNC3 d'Imphy, bobiné sur un tube en stéatite. Ce four est soigneusement calorifugé avec de la bourse d'amianto. La disposition verticale du four permet difficilement d'obtenir une température uniforme sur toute sa longueur, aussi pour réduire au minimum le gradient de température, nous avons dû diviser le bobinage du four en trois tronçons, le tronçon médian était shunté par une résistance réglable. Dans ces conditions, les écarts de température donnés par les couples n'ont pas, pendant nos mesures, dépassé 5° C. Pour la mesure des températures, nous avons employé la méthode potentiométrique classique (fig. 36). Les couples thermoélectriques étaient des couples chromel-alumel disposés, l'un près de l'extrémité inférieure de l'éprouvette, l'autre près du support.

Les températures ont été évaluées à l'aide d'un potentiomètre Mécí.

Nos mesures ont été faites sur cinq éprouvettes de ferro-nickels reversibles, comportant 31 %, 35,5 %, 42 %, 72 %, 76 % et 99,5 % de nickel.

Pour éliminer l'écrouissage superficiel, par suite de l'usinage des éprouvettes, nous les avons chauffées dans un four électrique, pendant deux heures, à la température de 800° C, et c'est à la suite d'un refroidissement lent que nous les avons utilisées.

TABLEAU III

Temps (en h)	Dureté Rockwell	Dureté Brinell	Temps (en h)	Fréquence (en p/s)	Variation de fréquence ΔF	$\frac{\Delta E}{E} \cdot 10^4$
0	69,38	66	0	11 000	0	0
1	73,2	73,2	1	11 006,4	6,4	11,7
2	74,68	77	3	11 012,8	12,8	23,2
4	77,29	84	6	11 018,4	18,4	33,5
22	81,5	101	21	11 023,2	23,2	42
29	82,65	106	23	11 026,4	26,4	48
49	82,5	105	48	11 026,4	26,4	48

Pour la précision de cette étude, nous avons déterminé simultanément la température de l'éprouvette et sa fréquence propre.

Pour tenir compte des dilatations dans le calcul

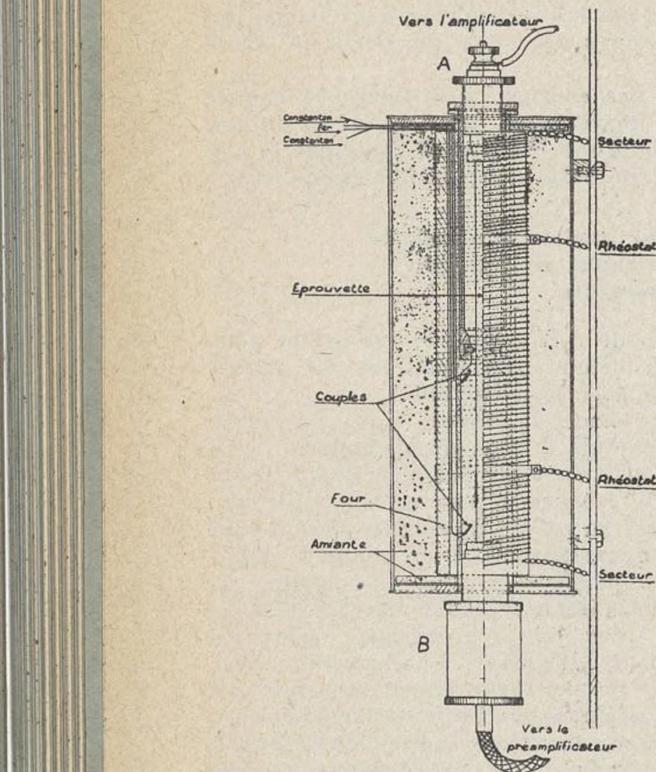


Fig. 35. — Coupe du thermostat à four électrique.

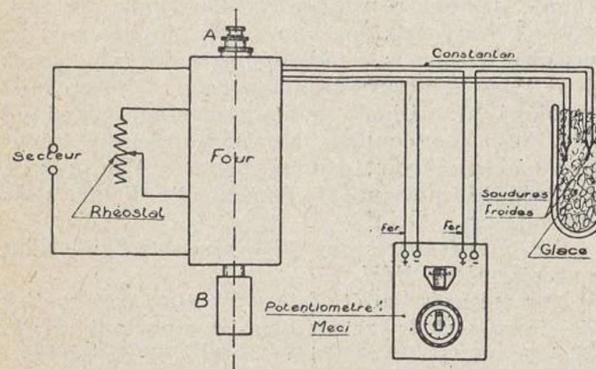


Fig. 36. — Schéma du montage de mesure de la température du four.

du module d'élasticité, nous avons utilisé les mesures de CHEVENARD sur le coefficient vrai des alliages de nickel entre la température ordinaire et les hautes températures (fig. 37). Les valeurs de α linéaire, vraies, déduites des mesures de CHEVENARD pour les ferro-nickels que nous avons étudiés, sont représentées en fonction de la température par les courbes de la figure 38.

Les tableaux IV, V, VI, VII, VIII et IX résument pour chaque éprouvette les mesures faites permettant de calculer, en fonction de la température, le module d'élasticité. Ces résultats sont traduits par les courbes de la figure 39.

L'examen de ces courbes montre que, dans le

domaine des températures considérées, la loi de variation de E n'est pas linéaire comme dans le cas des aciers (FORSTER).

On remarque que l'alliage fer-nickel ayant une

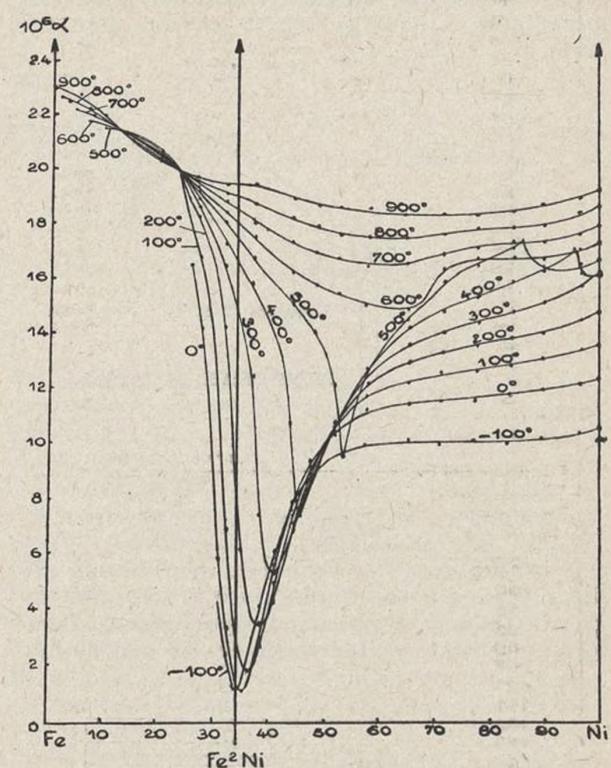


Fig. 37. — Isothermes « dilatabilité-concentration », des ferro-nickels (CHEVENARD).

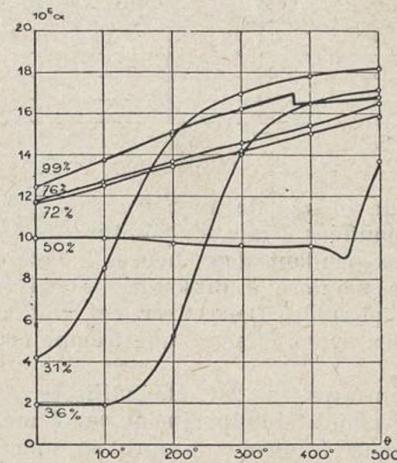


Fig. 38.

teneur en nickel de 50 % varie peu avec la température.

En ce qui concerne le nickel à 99,5 %, les courbes de CHEVENARD de dilatation montrent pour ce métal une nette discontinuité des coefficients de dilatation vrais au point CURIE. D'après nos résultats, on constate que le module décroît aux faibles températures, pour croître ensuite jusqu'au point Curie 360° C. Au delà de cette température, le module décroît à nouveau.

TENEUR EN NICKEL: 31% - LONGUEUR À 20°C: 250,295 - DENSITÉ À 20°C: 8,021

Températures moyennes: θm	Coefficient de dilatation 10 ⁻⁶ en fonction de la température	Longueur corrigée L=L ₀ (1+αθ)	Densité δ=δ ₀ /1+3αθ	Fréquence f	Module E=4L ² f ² δ·10 ⁻⁹
21°C	4,2	250,30	8,021	8 790	15 828,6
35	5,1	250,32	8,019	8 793	15 837,5
53	5,8	250,35	8,016	8 800	15 860,7
65	6,5	250,38	8,013	8 812	15 902,8
81	7,3	250,42	8,009	8 827	15 953,2
92	8,1	250,46	8,005	8 850	16 034,3
101	8,5	250,49	8,002	8 865	16 086,1
112	9,6	250,54	7,997	8 877	16 126,7
122	10,6	250,60	7,992	8 887	16 161,2
144	12	250,71	7,982	8 908	16 229,5
192	14,5	250,97	7,956	9 004	16 561,4
199	15	251,02	7,952	9 004	16 558,4
222	15,6	251,14	7,940	8 992	16 514,7
242	16	251,24	7,931	8 985	16 471,5
260	16,3	251,33	7,922	8 977	16 440,4
282	16,7	251,45	7,911	8 957	16 359,8
304	17	251,57	7,900	8 932	16 262,8
321	17,2	251,66	7,892	8 917	16 201,6
339	17,4	251,75	7,883	8 895	16 116,5
361	17,5	251,85	7,874	8 857	15 972,3
391	17,8	252,02	7,859	8 825	15 848,0
406	17,9	252,09	7,852	8 790	15 717,8
426	18	252,18	7,843	8 762	15 612,5
445	18	252,28	7,835	8 740	15 529,1
471	18,1	252,41	7,823	8 703	15 390,3
481	18,2	252,46	7,818	8 685	15 322,3

TABLEAU IV

TENEUR EN NICKEL: 36% - LONGUEUR À 20°C: 236,268 - DENSITÉ À 20°C: 8,120

Températures moyennes: θm	Coefficient de dilatation 10 ⁻⁶ en fonction de la température	Longueur corrigée L=L ₀ (1+αθ)	Densité δ=δ ₀ /1+3αθ	Fréquence f	Module E=4L ² f ² δ·10 ⁻⁹
26°C	1,9	238,27	8,120	8 592	13 873,6
50	"	238,28	8,119	8 607	13 923,2
55	"	238,28	8,119	8 625	13 981,5
62	"	238,29	8,118	8 637	14 019,2
89	"	238,30	8,117	8 642	14 034,9
97	"	238,30	8,116	8 652	14 162,9
121	2	238,31	8,115	8 740	14 352,8
141	2,5	238,34	8,112	8 785	14 496,5
162	3	238,37	8,109	8 850	14 712,3
173	3,7	238,41	8,105	8 912	14 916,8
200	5	238,49	8,097	8 980	15 074,1
220	6,8	238,60	8,085	9 175	15 796,8
239	6,5	238,73	8,072	9 197	15 863,1
265	11	238,93	8,061	9 265	16 085,7
280	12,5	239,06	8,037	9 322	16 273,1
300	14	239,23	8,020	9 325	16 261,4
324	15	239,38	8,004	9 325	16 258,2
339	15,3	239,46	7,997	9 321	16 242,2
359	16	239,58	7,983	9 305	16 175,1
368	16	239,61	7,980	9 291	16 122,8
392	16,3	239,73	7,968	9 270	16 042,6
420	16,6	239,84	7,955	9 240	15 930,6
447	17	240,00	7,940	9 208	15 809,8
472	17,1	240,11	7,929	9 167	15 669,0
498	17,2	240,23	7,917	9 125	15 508,3

TABLEAU V

TENEUR EN NICKEL: 50% - LONGUEUR À 20°C: 250,383 - DENSITÉ À 20°C: 8,179

Températures moyennes: θm	Coefficient de dilatation 10 ⁻⁶ en fonction de la température	Longueur corrigée L=L ₀ (1+αθ)	Densité δ=δ ₀ /1+3αθ	Fréquence f	Module E=4L ² f ² δ·10 ⁻⁹
21°C	10	250,39	8,179	8 767	16 069,7
36	"	250,42	8,175	8 772	16 070,1
42	"	250,44	8,174	8 770	16 068,8
50	"	250,46	8,172	8 769	16 064,3
58	"	250,48	8,170	8 766	16 049,7
70	"	250,51	8,167	8 760	16 025,5
80	"	250,53	8,164	8 760	16 022,2
90	"	250,56	8,162	8 753	16 002,5
100	"	250,58	8,159	8 753	15 999,1
118	"	250,63	8,155	8 745	15 969,2
154	9,9	250,71	8,147	8 735	15 928,2
161	"	250,73	8,145	8 734	15 922,7
182	9,8	250,78	8,140	8 727	15 895,5
190	"	250,80	8,138	8 723	15 879,5
228	"	250,89	8,129	8 710	15 825,1
240	9,7	250,92	8,127	8 710	15 824,0
260	"	250,96	8,122	8 710	15 820,4
284	9,6	251,02	8,118	8 705	15 798,9
298	"	251,05	8,114	8 700	15 774,5
320	"	251,10	8,109	8 692	15 741,8
339	9,5	251,14	8,106	8 696	15 744,3
358	"	251,18	8,101	8 699	15 770,0
380	"	251,24	8,096	8 702	15 771,2
402	"	251,29	8,091	8 711	15 806,8
416	9,3	251,30	8,090	8 723	15 848,6
440	9	251,36	8,088	8 750	15 950,1
466	9	251,39	8,082	8 770	16 013,8
514	13,5	252,07	8,017	8 755	15 914,7

TABLEAU VI

TENEUR EN NICKEL: 72% - LONGUEUR À 20°C: 250,248 - DENSITÉ À 20°C: 8,450

Températures moyennes: Θm	Coefficient de dilatation 10‰ en fonction de la température.	Longueur corrigée $L = L_0(1+\alpha\Theta)$	Densité $\delta = \frac{\delta_0}{1+3\alpha\Theta}$	Fréquence f	Module $E = \frac{4L^2f^2\delta}{9,81} \cdot 10^{-9}$
22°C	11,7	250,25	8,449	9757	20 535,0
33	12	250,29	8,446	9780	20 547,2
44	12	250,32	8,443	9757	20 534,4
64	12,2	250,38	8,436	9745	20 474,6
71	12,2	250,41	8,434	9745	20 473,0
81	12,3	250,44	8,431	9735	20 431,3
91	12,3	250,47	8,428	9730	20 405,7
101	12,5	250,50	8,424	9720	20 361,6
126	12,7	250,59	8,416	9700	20 271,2
143	13	250,65	8,409	9685	20 201,6
160	13,1	250,71	8,403	9667	20 121,4
180	13,2	250,78	8,396	9640	20 055
201	13,4	250,86	8,388	9615	19 895,9
219	13,6	250,93	8,381	9587	19 772,6
241	13,7	251,01	8,373	9555	19 635,1
260	13,8	251,11	8,366	9525	19 512,6
281	13,9	251,17	8,358	9492	19 366,8
300	14	251,24	8,351	9462	19 249,4
320	14,2	251,33	8,342	9430	19 103,8
340	14,4	251,40	8,334	9402	18 982,9
360	14,6	251,50	8,325	9367	18 835,7
383	14,7	251,60	8,315	9315	18 619,8
399	15	251,69	8,304	9292	18 524,4
423	15,1	251,79	8,297	9260	18 387,9
443	15,3	251,88	8,288	9223	18 221,0
459	15,4	251,95	8,280	9190	18 097,0
481	15,6	252,07	8,270	9160	17 974,4
500	15,8	252,16	8,260	9117	17 797,0

TABLEAU VII

TENEUR EN NICKEL: 76% - LONGUEUR À 20°C: 239,793 - DENSITÉ À 20°C : 8,499

Températures moyennes: Θm	Coefficient de dilatation 10‰ en fonction de la température.	Longueur corrigée $L = L_0(1+\alpha\Theta)$	Densité $\delta = \frac{\delta_0}{1+3\alpha\Theta}$	Fréquence f	Module $E = \frac{4L^2f^2\delta}{9,81} \cdot 10^{-9}$
18	11,6	239,79	8,504	10 320	21 231,1
30	12,1	239,82	8,496	10 317	21 195,3
47	12,3	239,88	8,490	10 315	21 191,4
61	12,4	239,92	8,486	10 307	21 148,9
73	12,4	239,97	8,482	10 300	21 126,4
81	12,5	239,98	8,479	10 295	21 102,7
89	12,5	240,00	8,477	10 285	21 061,6
103	12,7	240,05	8,472	10 277	20 956,9
120	13	240,11	8,465	10 262	20 950,5
147	13,2	240,20	8,456	10 240	20 846,9
160	13,3	240,25	8,451	10 227	20 794,8
180	13,5	240,32	8,445	10 190	20 634,2
198	13,7	240,39	8,436	10 146	20 452,4
220	13,8	240,46	8,428	10 060	20 105,9
247	14	240,57	8,418	10 052	20 059,7
262	14,1	240,62	8,412	10 002	19 869,2
302	14,3	240,77	8,396	9 952	19 645,0
320	14,5	240,85	8,388	9 925	19 537,2
340	14,7	240,93	8,379	9 912	19 483,5
360	15	241,03	8,369	9 873	19 321,1
380	15,1	241,11	8,361	9 850	19 210,8
404	15,3	241,22	8,350	9 800	19 029,5
420	15,6	241,31	8,341	9 760	18 841,6
440	15,7	241,39	8,332	9 689	18 577,5
460	16	241,50	8,321	9 687	18 558,2
480	16,2	241,60	8,311	9 655	18 433,1
502	16,5	241,72	8,299	9 612	18 257,9

TABLEAU VIII

TENEUR EN NICKEL: 99% - LONGUEUR À 20°C: 245,247 - DENSITÉ À 20°C : 8,839

Températures moyennes: Θm	Coefficient de dilatation 10‰ en fonction de la température.	Longueur corrigée $L = L_0(1+\alpha\Theta)$	Densité $\delta = \frac{\delta_0}{1+3\alpha\Theta}$	Fréquence f	Module $E = \frac{4L^2f^2\delta}{9,81} \cdot 10^{-9}$
19°C	12,6	245,24	8,840	9945	21 436,4
55	13	245,36	8,827	9815	20 869,5
60	13,2	245,38	8,825	9782	20 729,6
85	13,5	245,47	8,816	9650	20 165,6
100	13,7	245,52	8,810	9587	19 900,0
120	14	245,60	8,802	9582	19 873,4
152	14,4	245,72	8,785	9555	19 751,2
170	14,5	245,79	8,781	9535	19 658,8
180	14,7	246,83	8,776	9517	19 582,8
213	15	245,97	8,762	9480	19 422,9
240	15,5	246,10	8,748	9475	19 389,5
260	15,7	246,19	8,739	9478	19 395,3
290	16	246,32	8,726	9507	19 505,3
302	16,2	246,38	8,718	9532	19 602,8
320	16,6	246,47	8,707	9545	19 645,9
340	16,8	246,58	8,697	9565	19 721,5
360	17,1	246,89	8,686	9575	19 755,8
384	16,2	246,71	8,684	9602	19 864,9
404	16,3	246,80	8,675	9600	19 853,7
420	16,5	246,88	8,666	9547	19 626,4
439	16,5	246,96	8,658	9510	19 470,5
463	16,6	247,07	8,647	9467	19 285,2
482	16,6	247,15	8,639	9432	19 138,0
500	16,7	247,23	8,630	9400	19 001,6

L en mm

f en périodes par sec.

E en kg par mm²

Le point CURIE est par conséquent un point remarquable en ce qui concerne les propriétés élastiques de ce métal.

La figure 40 montre en perspective la surface, module — température — teneur.

Les modules obtenus dans ces conditions sont

ques et leur intensité est d'autant plus grande que la déformation imposée est plus lente. C'est pourquoi, si l'on veut dégager le mieux possible les phénomènes élastiques des phénomènes visqueux, on doit recourir à la méthode dynamique.

Il en résulte que les modules déterminés par

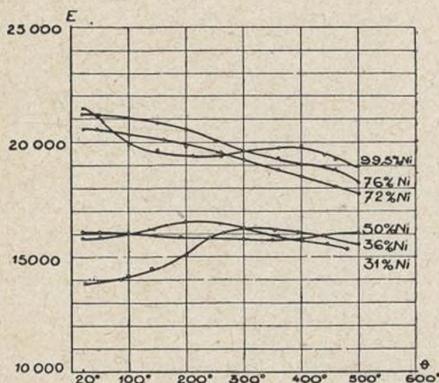
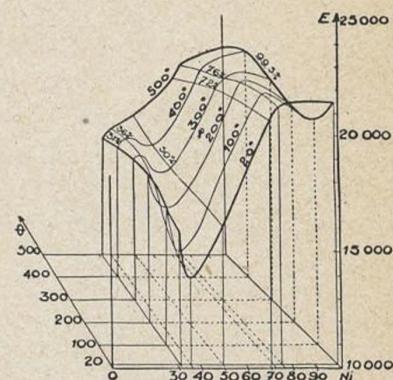


Fig. 39 (à gauche)

Fig. 40 (à droite)



des modules dynamiques qui, en raison de la fréquence des contraintes et de leur faible valeur, éliminent pratiquement les phénomènes de viscosité. Le module déterminé par ce procédé peut donc être considérée comme une des caractéristiques physiques du matériau expérimenté.

COMPARAISON DES RÉSULTATS DONNÉS PAR LES MÉTHODES STATIQUE ET DYNAMIQUE.

Pour les sollicitations lentes, les phénomènes visqueux se superposent aux phénomènes élasti-

les méthodes dynamiques, dans lesquelles seules les déformations élastiques interviennent, auront à priori des valeurs systématiquement plus élevées que les modules déterminés par les méthodes statiques (méthode des miroirs de Martens par exemple) et l'on doit s'attendre à ce que les résultats fournis par les deux méthodes diffèrent d'autant plus que les phénomènes visqueux sont plus importants, c'est-à-dire que la température est plus élevée.

R. CABARAT.

(A suivre.)

