

type 4809

LABORATOIRE DE PHYSIQUE  
ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE LYON  
48, Allée d'Italie  
69364 LYON CÉDEX 07

## Excitateur de Vibrations

### CARACTERISTIQUES:

- Force nominale sinusoïdale crête: 45 newtons (60 N avec refroidissement par air)
- Gamme de fréquence: 10 Hz à 20 kHz
- Première résonance axiale: 20 kHz
- Accélération maximale sur table nue: 75 g soit  $736 \text{ m/s}^2$  (100 g avec refroidissement par air)

### APPLICATIONS:

- Etalonnage des accéléromètres
- Essais en vibrations de petits objets
- Démonstrations éducatives
- Mesure d'impédance mécanique



L'Excitateur de Vibrations 4809 est un appareil aux performances très intéressantes et aux multiples possibilités d'emploi. La qualité des matériaux qui servent à sa construction et le contrôle rigoureux dont il est l'objet en cours de fabrication lui donnent des caractéristiques très stables dans le temps. Il peut être piloté avec n'importe quel petit amplificateur de puissance et il peut recevoir jusqu'à 5 A à l'entrée sans qu'il soit nécessaire de prévoir un refroidissement extérieur. L'amplificateur Brüel & Kjær 2706 a été conçu spécialement pour être associé à l'excitateur 4809. Il délivre 75 VA.

Cet appareil permet d'étalonner des capteurs de vibrations de tous types et, grâce à lui, on peut en tracer les courbes de réponse entre

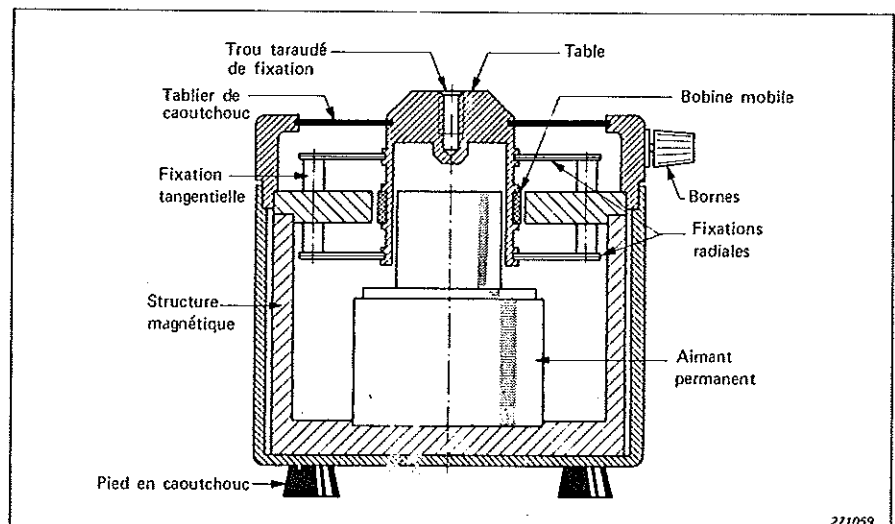


Fig.1. Vue en coupe de l'excitateur 4809

10 Hz et 20 kHz. La sensibilité d'un accéléromètre de 21 grammes peut être déterminé à un niveau qui peut atteindre 56 g (551 m/s<sup>2</sup>).

La densité importante de flux magnétique nécessaire à l'obtention d'un effort important avec un petit amplificateur de puissance, est créée dans l'entrefer par un aimant permanent Columax. Le poids faible de l'équipage mobile autorise l'essai en vibrations de charge importante et permet l'obtention de niveaux élevés d'accélération. L'accélération maximale sur table nue est de 75 g. La charge maximale possible pour divers niveaux d'accélération est donnée sur la courbe de la Fig.2.

L'équipage mobile est guidé très fermement dans son mouvement rectiligne par des suspensions radiales et transversales, qui sont constituées d'un sandwich de tôle d'acier et d'élastomère très amortissant. On obtient ainsi une accélération dont la forme d'onde est très pure avec un mouvement transversal très faible et très peu de distorsion. Les résonances axiales, transversales et de flexion sont fortement amorties.

Grâce à une conception très soignée de la structure de l'élément mobile on a pu obtenir une valeur très élevée pour la première fréquence de résonance axiale: 20 kHz.

Un déplacement continu de 8 mm crête à crête est possible. Des butées empêchent le déplacement de devenir excessif au cas où l'excitateur reçoit une puissance trop grande.

Deux orifices obturés par des bouchons vissés sont aménagés dans le

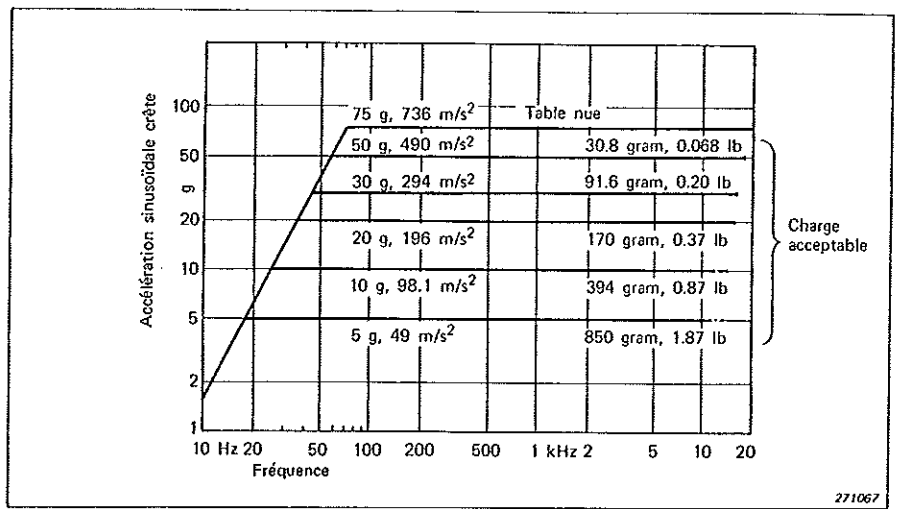


Fig.2. Courbes donnant les performances de l'excitateur 4809 en régime sinusoïdal

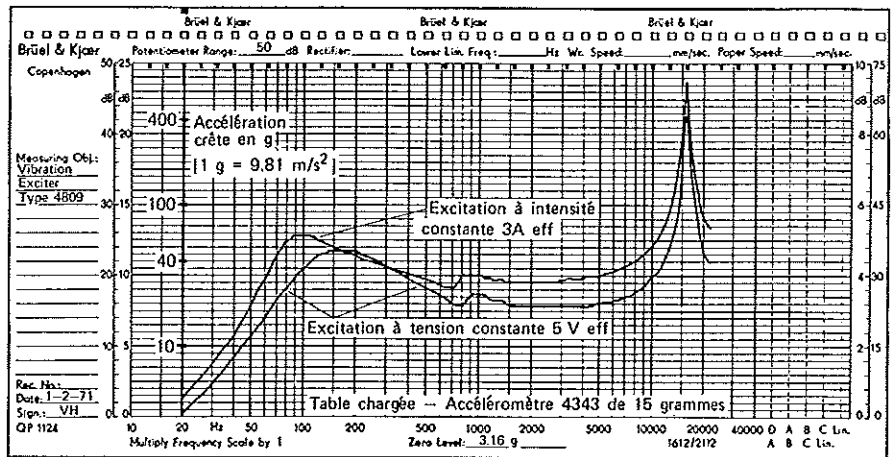


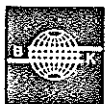
Fig.3. Courbes de réponse en fréquence, à tension et à intensité constante, de l'excitateur 4809

corps et ils peuvent recevoir des tuyaux d'admission d'air comprimé lorsqu'il est nécessaire de prévoir un refroidissement de la bobine mobile et de la suspension. Avec de l'air à 100 kPa, on peut admettre un courant de 7 A et la force maximale devient 60 N.

B & K peut fournir tous les appareils susceptibles d'être associés à ce petit excitateur: oscillateurs de commande, amplificateurs de puissance, accéléromètres, préamplificateurs, amplificateurs de mesure, analyseurs de fréquence et enregistreurs de niveau.

## Spécifications du 4809

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Force nominale:</b><br>Sinusoïdale crête 44,5 newtons<br>(60 N avec refroidissement par air)                                  | <b>Vitesse maximale:</b><br>1,65 m/s  | <b>Champ magnétique de fuite:</b><br>20 x 10 <sup>-3</sup> Weber/m <sup>2</sup> sur la table<br>8 x 10 <sup>-3</sup> Weber/m <sup>2</sup> à 12,7 mm au dessus de la table |
| <b>Gamme de fréquence:</b><br>10 Hz à 20 kHz (table nue)   | <b>Masse dynamique de l'équipage mobile:</b><br>60 grammes                                | <b>Dimension de la table:</b><br>diamètre 29 mm   |
| <b>Fréquence de résonance axiale:</b><br>20 kHz (table nue)  | <b>Raideur de la suspension:</b><br>12 newtons/mm   | <b>Filetage du trou de fixation:</b><br>10 - 32 UNF   |
| <b>Accélération maximale sur table nue:</b><br>75 g, 736 m/s <sup>2</sup><br>(100 g, 1000 m/s <sup>2</sup> avec refroidissement) | <b>Courant maximal à l'entrée:</b><br>5 A eff.<br>(7 A eff. avec refroidissement par air) | <b>Poids total:</b><br>8,3 kg   |
| <b>Déplacement maximal:</b><br>8 mm crête à crête  | <b>Impédance de la bobine:</b><br>2 Ω à 500 Hz  | <b>Dimensions:</b><br>diamètre: 149 mm<br>hauteur: 143 mm   |



**Brüel & Kjaer France**

38, Rue CHAMPOREUX, 91540 MENNECY · Tél. (6) 457 20 10 · Télex IBEKA 600 573 F

Bordeaux (56) 47-33-16 Lille (20) 53-46-13 Lyon (7) 826-77-35 Marseille (42) 20-01-34 Rennes (99) 65-06-88 Strasbourg (88) 33-44-60 Toulouse (61) 52-36-65

**Instruments B & K**

**ACOUSTIQUE . . .**

Microphones-condensateurs  
 Microphones piézoélectriques  
 Amplificateurs de microphones  
 Appareils d'étalonnage de microphones  
 Sonomètres usage général — précision et impulsion  
 Tubes à ondes stationnaires  
 Machines à frapper

**ELECTROACOUSTIQUE . . .**

Oreilles artificielles  
 Voix artificielles  
 Mastoïdes artificiels  
 Appareils de contrôle de prothèse auditive  
 Appareils de mesures pour lignes téléphoniques  
 Ensembles d'étalonnage audiométrique  
 Equipement de contrôle pour l'appareillage de reproduction sonore

**CONTRAINTES . . .**

Appareils de mesure de contraintes  
 Ensembles à points de mesure multiples  
 Sélecteurs automatiques  
 Unités d'équilibrage

**VIBRATION . . .**

Accéléromètres  
 Préamplificateurs  
 Appareils d'étalonnage des accéléromètres  
 Appareils de mesure des vibrations

**Transducteurs magnétiques**

Générateurs de contrôle automatique d'excitateurs de vibration  
 Programmateurs de vibration  
 Sélecteurs de signaux de contrôle  
 Vibreurs miniatures  
 Module complexe d'élasticité  
 Stroboscopes

**GENERATEURS . . .**

Générateurs BF à battement  
 Générateurs de bruit blanc  
 Générateurs sinusoidaux et de bruit à bande passante réglable

**MESURE . . .**

Amplificateurs de mesure  
 Voltmètres  
 Ponts de mesure  
 Mégohmmètres

**ANALYSE . . .**

Filtres passe bande  
 Spectromètres BF  
 Analyseurs de fréquence  
 Analyseurs en temps réel  
 Filtres asservis  
 Filtres psophométriques  
 Analyseurs statistiques

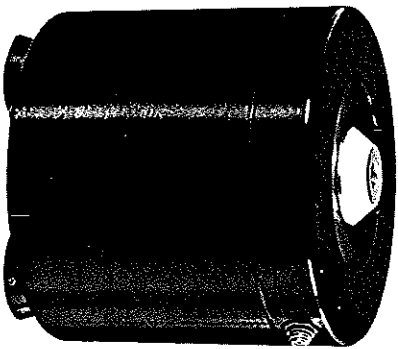
**ENREGISTREMENT . . .**

Enregistreurs de niveaux (coordonnées rectangulaires et polaires)  
 Traceurs de courbes de réponse BF  
 Enregistreurs magnétiques de mesure

**BRÜEL & KJÆR**

DK-2850 Nærum, Danemark. Tél.: (01) 80 05 00. Télégr.: BRUKJA, Copenhague. Télex: 5316

*Laboratoire de Physique*  
**INSTRUCTIONS**  
**ET APPLICATIONS**  
**4810**



**Mini Vibreur type 4810**

Ce mini-vibreur est un petit excitateur de vibrations, aux multiples possibilités qui peut être excité dans une gamme étendue de fréquences et employé dans n'importe quelle position.

**BRÜEL & KJÆR**

## TABLE DES MATIERES

|  |    |
|--|----|
| 1. DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT ..... | 3  |
| 2. CARACTERISTIQUES .....              | 6  |
| 3. APPLICATIONS .....                  | 8  |
| 4. ACCESSOIRES .....                   | 14 |
| 5. SPECIFICATIONS .....                | 15 |

### 1. DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT

#### 1.1. DESCRIPTION

Cet appareil est un petit excitateur de vibration, stable et facile à transporter. Il a été conçu surtout pour l'étalonnage des accéléromètres, mais il peut évidemment être employé à d'autres usages, dans le domaine de l'enseignement par exemple. La gamme de fréquence est suffisamment étendue pour la plupart de ses applications. Le mouvement est presque parfaitement rectiligne, ce qui donne moins de 3% d'accélération transversale jusqu'à 5 KHz. Le trou taraudé 10-32 NF dont est pourvue la table vibrante permet le montage de tous les accéléromètres B & K. La construction du mini-vibreux est telle qu'il peut être employé dans toutes les positions.

#### 1.2. CONSTRUCTION ET FONCTIONNEMENT

La Fig. 1.1 montre le 4810 en coupe. Un aimant permanent Colummax est fixé au fond du boîtier et se prolonge dans la partie cylindrique creusée de la table vibrante. La bobine d'excitation est bobinée autour de l'élément central de telle sorte qu'elle se trouve toujours dans le champ magnétique. Des ressorts à lame raidissent le système vibrant et obligent le mouvement à être rectiligne et vertical. L'ensemble, avec l'aimant et l'élément vibrant, est monté dans un boîtier protecteur dans lequel une rondelle de caoutchouc fait office de joint d'étanchéité entre la table vibrante et ce boîtier. Un trou taraudé 10-32 NF dans le fond de ce dernier permet de fixer rigidement le 4810. Le principe de fonctionnement du 4810 se comprend aisément à partir de la théorie électromagnétique. Un courant sinusoïdal, de fréquence et de puissance donnée, issu d'un générateur, est envoyé dans le bobinage. On crée ainsi un champ électrique oscillant qui se superpose aux lignes de force du champ magnétique. C'est pourquoi la bobine transmet un mouvement mécanique à l'élément vibrant. Ce mouvement est vertical et symétrique par rapport à l'axe du mini-vibreux.

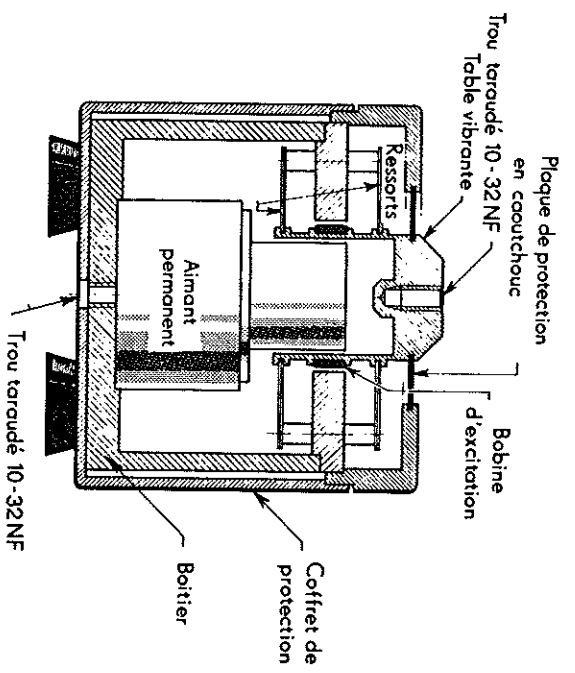


Fig.1.1. Vue en coupe du mini-vibreur 4810

27-22

La force produite par le courant qui traverse la bobine détermine l'accélération. Les lois de la mécanique donnent:

$$1. \quad F = m \cdot a$$

La force créée par le champ magnétique et le courant, qui lui est perpendiculaire, circulant dans la bobine est:

$$2. \quad F = B \cdot i \cdot l$$

- F = Force en Newton
- m = masse de la table en kg
- a = accélération en m/sec<sup>2</sup> (g = 9,806 m/sec<sup>2</sup>)
- B = Induction magnétique en gauss
- i = Intensité de courant à travers la bobine Ampères
- l = Longueur du conducteur dans le champ magnétique en mètres

De 1. et 2., on tire l'accélération a:

$$B \cdot i \cdot l = m a$$

$$3a) \quad a = \frac{B \cdot i \cdot l}{m}$$

ou

$$3b) \quad g = \frac{B \cdot i \cdot l}{9,806 \times m}$$

## 2. CARACTERISTIQUES

La Fig.2.1 représente les caractéristiques en fréquence typiques d'un 4810. Le courant  $i_D$ , le voltage  $V_D$  et l'impédance  $Z_D$  de la bobine d'excitation ont été indiqués en fonction de la fréquence pour une accélération constante de 1 g. On voit qu'entre 50 et 60 Hz, l'impédance croît et le courant chute, ce qui indique une résonance. C'est la résonance de la suspension entre l'élément et l'excitateur. Il y a un second pic à 18 KHz qui correspond à la première résonance de l'élément mobile lui-même.

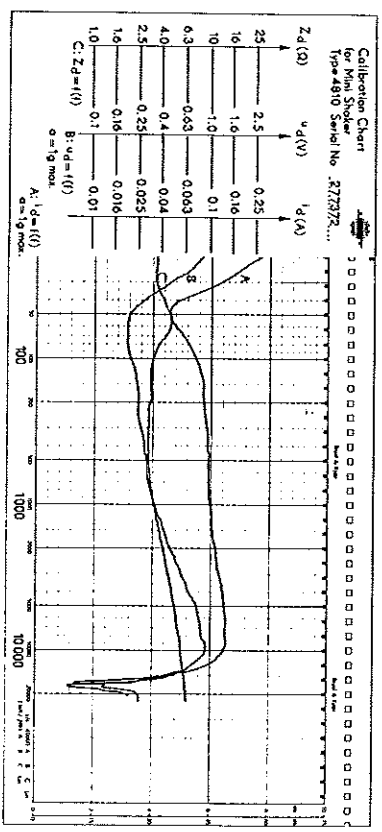


Fig.2.1. Courbes de variation en fonction de la fréquence de l'impédance, du courant, et de la tension du mini-vibreux 4810 chargé avec un accéléromètre 4332 (30 grammes)

Pour le tracé de cette courbe, la table vibrante était chargée par un accéléromètre 4332, de 30 grammes, ce qui donne une masse effective de 48 g.

La fréquence de résonance est:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_0}}$$

$m_0$  = masse effective  
 $k$  = raideur du ressort

Si on augmente la masse d'origine d'une quantité  $m_1$  la fréquence de résonance est ramenée à une valeur  $f_1$ :

$$f_1 = f_0 \sqrt{\frac{m_0}{m_0 + m_1}}$$

Une augmentation de masse de 10% diminue la valeur de la fréquence de résonance de 5% environ.

### 3. APPLICATIONS

Compte tenu de sa petite taille, de son faible poids et de la possibilité qu'on a de l'utiliser dans n'importe quelle position, le mini-vibreur a des applications en nombre presque illimité. Nous en citerons quelques unes ci-dessous.

La plus courante est l'étalonnage des accéléromètres.

#### ETALONNAGE D'UN ACCELEROMETRE

La Fig.3.1 représente le montage qui permet d'effectuer l'étalonnage relatif d'un accéléromètre à une fréquence donnée.

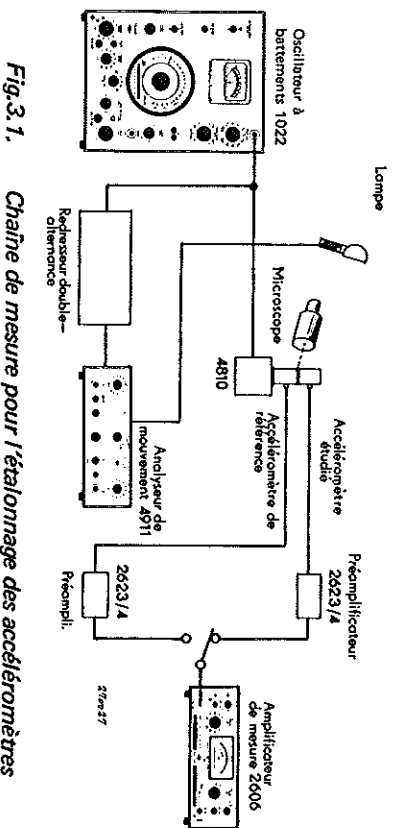


Fig.3.1. Chaîne de mesure pour l'étalonnage des accéléromètres

L'accéléromètre de référence sur lequel est fixé l'accéléromètre étudié est monté sur le mini-vibreur. On excite le 4810 par un oscillateur à battements et les tensions de sortie des accéléromètres sont comparées sur un amplificateur de mesure. La différence de tension en dB est égale au rapport en dB entre les sensibilités respectives des deux accéléromètres. Il est alors facile d'évaluer la sensibilité en mV/g de l'accéléromètre inconnu.

Au cours de l'expérience, l'amplitude exacte de la vibration peut être mesurée grâce à l'analyseur de mouvement B & K 4911.

Avec le redresseur double-alternance, qui agit comme doubleur de fréquence, l'analyseur de mouvement peut être réglé de telle sorte que soient illuminés les deux points extrêmes du mouvement de l'accéléromètre. Ces deux points donneront alors l'impression d'être fixes. La distance entre ces deux points, qui correspond à l'amplitude de la vibration, se mesure aisément avec un microscope.

#### MESURE DU MODULE COMPLEXE D'ELASTICITE

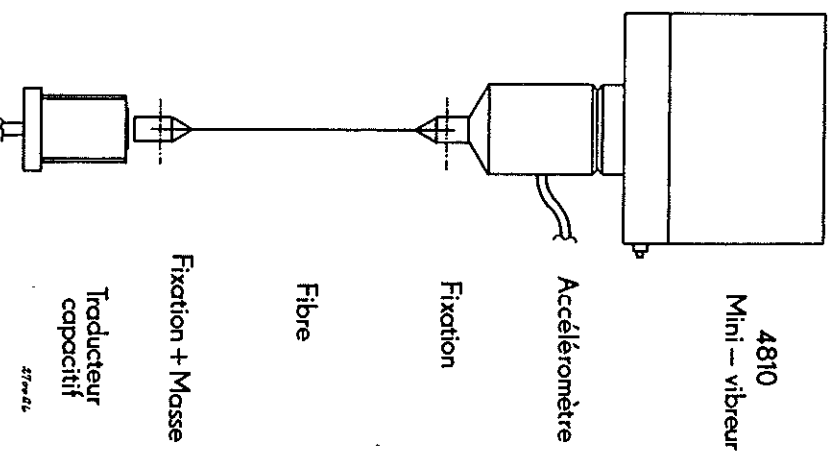


Fig.3.2. Montage pour la détermination du module complexe d'une fibre

Dans des conditions statiques le module d'élasticité d'un matériau est défini comme le rapport de la contrainte à l'allongement. Dans des conditions dynamiques, les frottements internes et externes produisent un déphasage entre la contrainte et la déformation. Le module s'exprime alors sous forme d'une grandeur complexe :

$$E = E' (1 + j\delta)$$

$$d = \text{facteur de perte} = \tan \delta$$

$$\delta = \text{déphasage dû au frottement}$$

La partie réelle  $E'$  peut être déterminée à la résonance d'un échantillon du matériau et le facteur de perte  $d$  peut être évalué en arrêtant brutalement la vibration et en mesurant le temps que prend une décroissance donnée d'amplitude.

Le montage de l'échantillon et du dispositif expérimental pour la mesure du module complexe est représenté Fig.3.2.

L'échantillon est suspendu à un accéléromètre, lui-même fixé au mini-

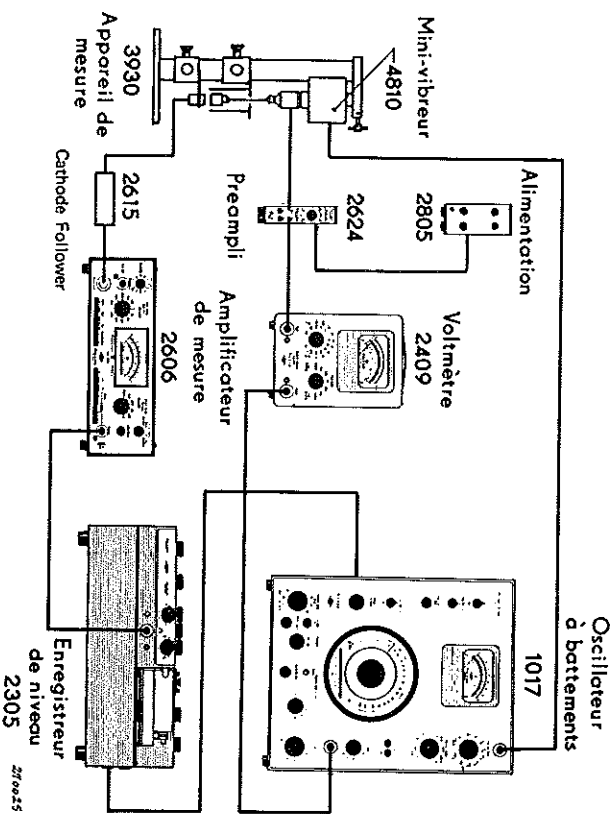


Fig.3.3. Chaîne de mesure pour la détermination du module d'élasticité complexe

vibreur. A l'autre extrémité de l'éprouvette on fixe une masse. Juste sous la masse, à une distance d'un mm environ, on place un capteur capacitif. Les variations de la longueur de l'échantillon vont se traduire par des variations de capacité et donc des variations de tension.

La chaîne de mesure complète est représentée Fig.3.3.

### MESURE D'IMPEDANCE MECANIQUE

L'impédance mécanique est une grandeur qui définit la réponse d'une structure mécanique lorsqu'on lui applique une force sinusoïdale. Elle est égale au rapport de la force appliquée à la vitesse

$$\bar{Z} = \frac{F}{V}$$

Cette quantité s'obtient directement grâce à la tête d'impédance 8001 qui contient un accéléromètre incorporé couplé à un capteur de force piézo-électrique (Fig.3.4).

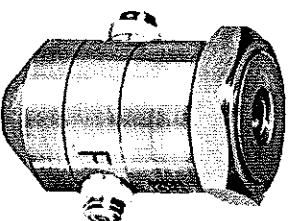


Fig.3.4. Tête d'impédance 8001

Cette tête d'impédance peut se monter directement sur le mini-vibreur et l'ensemble peut alors se fixer sur la structure à étudier. La force dynamique étant appliquée par le 4810, elle est mesurée par le capteur de force de la tête 8001. Simultanément l'information issue de l'accéléromètre est envoyée à un intégrateur. La force et la vitesse résultante sont donc simultanément mesurées.

La Mastroïde Artificiel 4930 est conçu pour l'étalonnage objectif des



appareils du type de ceux utilisés dans les dispositifs de correction auditive par conduction osseuse. Parmi les exigences auxquelles il doit se conformer, il faut que son impédance mécanique soit la même que celle d'un mastoïde humain moyen entre 125 et 4000 Hz. On détermine l'impédance mécanique des mastoïdes artificiels grâce à un ensemble représenté Fig.3.4, où une tête d'impédance 8000 spéciale pour les applications médicales est employée. Cette dernière convient très bien aux mesures sur les mastoïdes humains ou sur les fronts. Le nombre 3505 est la référence de l'ensemble complet qui comprend le vibreur, la tête d'impédance et le mastoïde artificiel. La masse située sous le capteur de force dans les modèles 8000 et 8001 n'est que de 1 g et on la compense automatiquement grâce à l'appareil de compensation

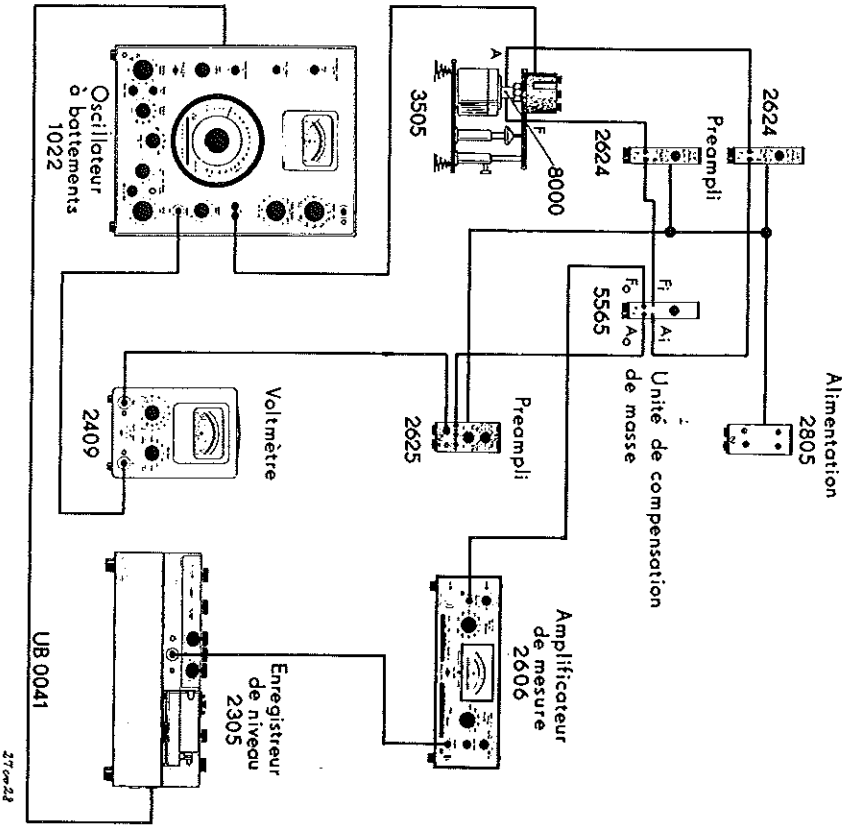


Fig.3.5. Ensemble de mesure d'impédance mécanique

de masse 5565. Un niveau de vitesse constant est obtenu par l'intermédiaire du circuit de compression de l'oscillateur à battements 1022. Le signal proportionnel à l'accélération passe à travers un préamplificateur puis à travers l'unité de compensation de masse, avant d'être intégré par le préamplificateur pour capteur de vibration, 2625. Le module de l'impédance mécanique est enregistré en fonction de la fréquence sur le papier préimprimé en fréquence d'un enregistreur de niveau 2305.

Pour déterminer les composantes résistives et réactives, on peut mesurer grâce à un phasemètre ou un oscilloscope le déphasage entre la force et la vitesse.

### DEMONSTRATIONS

Dans un but d'éducation, on peut monter sur le 4810 un petit objet dont on se propose d'étudier les caractéristiques vibratoires. Par exemple sur la Fig.3.6 on a représenté une expérience simple: 6 lames de longueurs différentes sont montées sur le mini vibreur. Au cours du balayage en fréquence du 1022, chacune de ces lames va atteindre la résonance à son tour, on peut étudier l'amplitude de chacune des lames à la résonance grâce à l'analyseur de mouvement 4911.

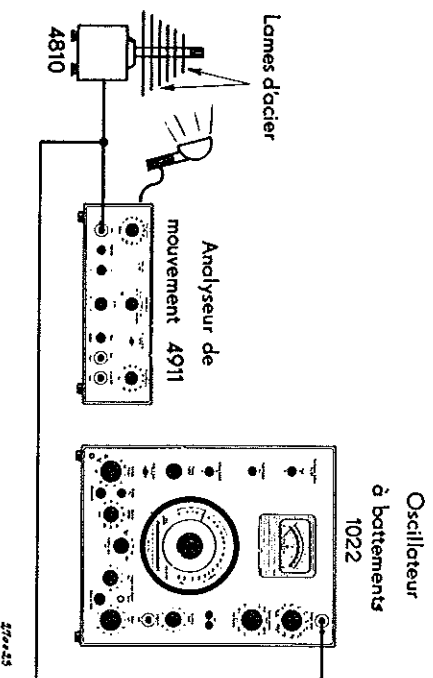


Fig.3.6. Expérience de démonstration

## ACCESSOIRES

AO 0069: Câble coaxial, blindé avec une fiche à trois broches. La fiche a une broche en l'air au centre pour que le câble puisse être connecté uniquement à l'oscillateur à battement et non pas accidentellement sur le secteur.

YQ 2960: 5 goujons filetés en acier 10-32 NF.

## 5. SPECIFICATIONS 4810

|   |  |
|---|--|
| Gamme de fréquence:                             | 20 Hz à 18 KHz   |
| Première résonance importante de l'armature:    | Au-dessus de 18 KHz  |
| Vecteur force nominale:                         | 7 Newtons  |
| Accélération maximale sur la table non chargée: | 50 g (65 Hz - 4 KHz)<br>35 g (65 Hz - 18 KHz)<br>1 g = 9,81 m/sec <sup>2</sup> |
| Course:   | ± 3 mm   |
| Résistance à la flexion:                        | 20 Newton/cm   |
| Poids réel de l'équipage mobile:                | 18 grammes   |
| Champ magnétique:                               | Aimant permanent Columnax  |
| Courant maximal à l'entrée:                     | 1,6 A  |
| Impédance de la bobine:                         | 3,5Ω à 500 Hz  |
| Distorsion:                                     | 1% de 150 Hz à 1000 Hz pour une accélération de 10 g                           |
| Liaison:  | Par fiche miniature 10-32 NF   |
| Poids total:                                    | 1,1 kg   |
| Gamme de température:                           | 0° - 50°C  |
| Humidité relative:                              | 0 à 100%   |
| Dimensions:                                     | Diamètre 76 mm<br>Hauteur 75 mm  |