

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT ELECTRICITE

27/77

1 ex



ELECTRONIQUE

BANC D'ESSAIS

EN
ACOUSTIQUE

THESE DE FIN D'ETUDE

PROPOSEE PAR:

MR. G. BOUDIN INGENIEUR
PROFESSEUR A L'ENPA

ETUDIEE PAR:

MR. A. AZZEF
A. AHMED

PROMOTION JUIN 1977

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT ELECTRICITE

BANC D'ESSAIS
EN
ACOUSTIQUE

THESE DE FIN D'ETUDE

PROPOSEE PAR :

MR. G. BOUDIN INGENIEUR
PROFESSEUR A L'ENPA

ETUDIEE PAR :

MR. A. AZZEF
A. AHMED

— PROMOTION JUIN 1977 —

- A MES PARENTS -

Pour leurs sacrifices et leurs affections :

- A MES FRERES :

- Abdelhalim, Djamel, Karim, Islam,
Toufik.

MES SOEURS :

Fouzia
Lamia.

- A TOUS MES AMIS :

- A TOUS MES CAMARADES :

A. AZZEF

- A mons Père

- A ma Mère

- A Mes Frères :

- A Mes Soeurs

Abderrahmane, Mohamed

Alia, Nadjla

Yacine, Havtham

A Mouna, Nazih, Lina, Bassem

- A Travers Cette Thèse.

- Nous Remercions.

- Nos professeurs pour leur enseignement.

- Notre Promoteur : Monsieur ROUDHIN.

- Notre Chef de Département Monsieur ADANE.

Ainsi que toute les personnes qui ont contribué
à l'élaboration de cette thèse de près ou de loin.

Chaleusement

A. A.

BANC d'ESSAIS
en
ACOUSTIQUE

-:-:-:-:-

PLAN

Introduction :

1ère Partie :

- Mesure de la vitesse du son dans l'air.
- Mesure du coefficient d'absorption.
(Méthode du tube de Kundt).

2ème Partie :

- Utilisation d'un sonomètre.
- Mesure du niveau de bruit.
- Spectre gramme sonore.

3ème Partie :

- Utilisation d'un pistophone.
- Utilisation d'un excitateur-électrostatique.
- Etalonnage et corrections de microphones.

4ème Partie :

- Etude théorique des microphones à condensateur.
- Vérification théorique et pratique des caractéristiques indiquées par le constructeur.
- Exploitation de la courbe de réponse en pression.

Conclusion.

---: INTRODUCTION: ---

.Le terme "acoustique" recouvre une multitude de disciplines diverses; dont l'élément commun est l'étude du son (ou du bruit) au sens usuel du terme. La connaissance des phénomènes physiques du bruit aérien, dans le cas le plus courant du "bruit" est à la base des travaux d'acoustique.

. Dans la gamme très variée de l'acoustique; on peut partir de la propagation, l'absorption, l'isolement, la réverbération pour n'aboutir que sur la recherche qui reste grande ouverte aux acousticiens.

. Le son et le bruit sont souvent définis comme des phénomènes physiques, fluctuations de pression d'air autour d'une valeur moyenne avec propagation d'ondes et transport d'énergie, mais au point de vue physiologique le son est une sensation sonore et parfois aussi défini comme une gêne, l'oreille y est sensible et sera l'élément de base de l'acousticiens. Il sera nécessaire d'abord de saisir l'esprit qui doit amener l'acousticien lorsque confronté à un problème de bruit et pour résoudre au mieux, il devra faire un choix (moyens, appareils, méthodes). Les problèmes de métrologie de la mesure acoustique sont donc primordiaux la lutte contre le bruit pose des problèmes différents et la recherche industrielle est dirigée dans ce sens tel que le choix du milieu; source de bruit, isolement, protection des personnes, identification des sources et leurs contrôles. car jusque-là, parfois encore les problèmes de bruit sont trop souvent laissés au hasard ou traités de manière artisanale. Les connaissances acquises à l'heure actuelle permettent cependant de procéder à l'estimation des problèmes de bruit qui risquent de se poser lors d'une installation. Dans notre projet de fin d'études. Nous avons essayé de définir certaines méthodes qui dans un esprit constructif pourront aider l'étudiant à entrevoir et à vérifier certaines de ses connaissances théoriques, un projet qui aura surtout un impact sur l'étudiant.

Nous avons exprimé par ces réflexions que les vœux des acousticiens qui persévèrent pour le bien de l'humanité.

1ère - P A R T I E -

Manipulation n° 1

Mesure de la vitesse du son dans l'air et du coefficient d'absorption de différents matériaux par la méthode du tube de Kundt

I. Objet de la mesure:

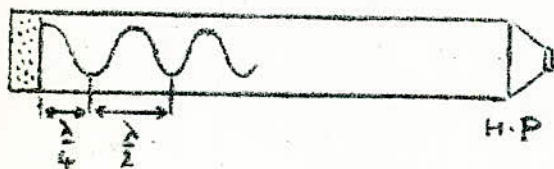
On se propose dans cette manipulation:

- 1°) de vérifier la valeur classique de la vitesse du son dans l'air (environ 344 m/s à pression atmosphérique normale et à 20°C),
- 2°) de mesurer le coefficient d'absorption de quelques matériaux couramment rencontrés en acoustique (ici, lames de contre-plaqué de différentes épaisseurs, avec ou sans couches de papier interposées, feutre, etc).

II. Principe de la méthode (références: notice Brüel & Kjaer 4002):

On crée dans un tuyau de dimensions convenables un train d'ondes sonores en excitant un haut-parleur, placé à l'une des extrémités du tuyau, au moyen d'un générateur B.F. L'autre extrémité du tuyau est fermée par un porte échantillon contenant un échantillon circulaire du matériau à étudier. Le diamètre du tube est choisi suffisamment petit pour que l'on puisse supposer avoir affaire à des ondes planes.

L'onde incidente d'amplitude 1 et l'onde réfléchie d'amplitude $r < 1$ donnent naissance à un système d'ondes stationnaires avec



des ventres de pression, d'amplitude $1 + r$ et des noeuds de pression d'amplitude $1 - r$ dans le tube. Le rapport

$$n = \frac{p_{\max}}{p_{\min}}$$

des pressions sonores maximale et minimale permet de calculer directement le coefficient de réflexion r ,

$$|r| = \frac{n - 1}{n + 1} \quad (1)$$

(voir démonstration en annexe).

Le coefficient d'absorption α , c'est-à-dire le rapport

$$\alpha = \frac{E_{\text{absorbées}}}{E_{\text{incidente}}}$$

est égal, d'après la formule établie en annexe, à :

$$\alpha = 1 - (r)^2 \quad (2)$$

En tenant compte de la relation (1), on a :

$$\alpha = \frac{4}{n + \frac{1}{n} + 2} \quad (3)$$

La pression sonore en un point quelconque du tuyau est mesurée au moyen d'une sonde constituée par un tuyau rigide de très faible diamètre et ayant la longueur du tube principal. La théorie montre en effet qu'un tuyau de faible section peut servir de sonde de mesure (principe de l'écouteur stéthoscopique). Cette sonde est solidaire d'un chariot contenant un microphone de précision.

La tension délivrée par le microphone est amplifiée par un amplificateur, sélectif ou non, puis mesurée à l'aide d'un voltmètre. Il suffit donc de déplacer le chariot du microphone de manière à obtenir une déviation maximale, puis une déviation minimale de l'aiguille du voltmètre, pour connaître la valeur du rapport n .

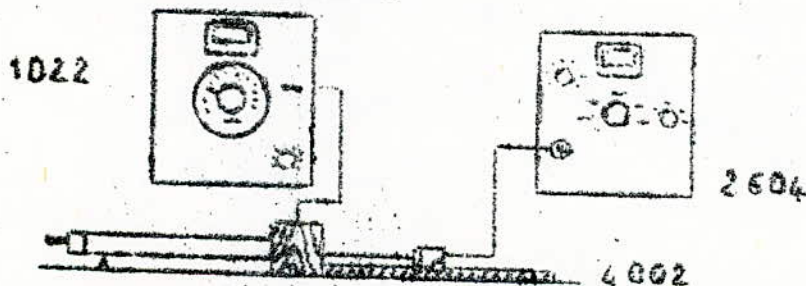
Enfin, la vitesse du son dans l'air se détermine aisément à une fréquence f donnée en mesurant la distance $\lambda/2$ qui sépare deux noeuds de pression consécutifs.

Connaissant λ , on calcule c par la relation

$$c_{\text{m/s}} = \lambda \times f_{\text{Hz}}$$

Le chariot se déplace sur une voie de roulement pourvue d'une échelle graduée qui permet de lire directement la distance séparant l'extrémité de la sonde de l'échantillon. La différence de deux lectures donne donc la valeur de $\lambda/2$.

III. Matériel utilisé:



- 1 Appareil à ondes stationnaires Brüel & Kjaer type 4002
- 1 Générateur basse fréquence Brüel & Kjaer type 1022
- 1 Amplificateur de microphone Brüel & Kjaer type 2604

V. Caractéristiques principales de ce matériel:

Ce paragraphe doit être lu attentivement après la manipulation.

A. Appareil à ondes stationnaires 4002

Gamme de fréquences: Grand tube: 90 - 1800 Hz
Petit tube: 300 - 6500 Hz

Dimensions des tubes de mesure:

Grand tube: diamètre 9,9 cm
longueur 100 cm

Petit tube: diamètre 2,9 cm
longueur 28 cm

Porte-échantillons:

Chaque tube est muni de deux porte-échantillons de profondeurs 1" (2,54 cm) et 2" (5,08 cm) respectivement et d'un porte-échantillon dont la profondeur peut varier de 0 à 3,75" (9,52 cm).

Haut-parleur:

" (17,78 cm), 6 watts, 8 ohms.

Microphone:

Microphone électromagnétique avec adaptation d'impédance sur la sonde.

Générateur basse fréquence 1022:

Gamme de fréquences logarithmique:

0 - 20 000 Hz. Un vernier de fréquence permet de choisir la fréquence voulue avec précision, pour une position quelconque de l'index de l'échelle principale; dans la gamme -50 Hz - +50 Hz.

Précision en fréquence:

Echelle du vernier..... +0,5 Hz
Echelle principale..... 1% ± 1 Hz

Adaptation d'impédances:

L'impédance de sortie adaptée sur 6, 60, 600, et 6000 ohms peut être choisie au moyen d'un sélecteur. La puissance maximale de sortie pour l'impédance de 6000 ohms vaut approximativement 2,5 watts dans la gamme 20 Hz - 20 000 Hz.

Stabilité des caractéristiques de fréquence:

Dans la gamme de fréquences 20 - 20 000 Hz
à l'intérieur de ± 0,3 dB sur sortie atténuée "ATTENUATOR OUTPUT"

à l'extérieur de ± 0,5 dB sur sortie adaptée "LOAD" à 1 watt.

Distorsion:

Distorsion maximale sur sortie atténuée, sans charge, avec 10 V de sortie environ..... 0,1 % à 1000 Hz.

Distorsion maximale sur sortie adaptée, avec une charge de 1 watt environ..... 0,3 % à 1000 Hz.

Rapport signal/bruit:

Meilleur que 70 dB en dessous de la tension de sortie maximale.

Voltmètre:

Voltmètre à lampes. A cadre mobile. Echelle à miroir illuminée. Précision: meilleure que 1,5 % de la pleine échelle. Parfaitement protégé contre les surcharges.

Atténuateur de sortie:

Variable par bonds de 10 dB (à $\pm 0,2$ dB), de 125 V à 12,5 V. Continuellement variable par un potentiomètre, à l'intérieur de chaque bond.

Régulation automatique de sortie:

Le compresseur (amplificateur de régulation) permet de réguler une variation de niveau de 45 dB environ. Il maintient une tension, un courant ou une pression sonore constante dans un intervalle de 2 dB et ceci dans la gamme de fréquences 20 Hz - 20 kHz.

La linéarité de la caractéristique de fréquence est effective à $\pm 0,3$ dB près. L'impédance d'entrée est de 25 k Ω . La vitesse de régulation est variable par échelons: 30 - 100 - 300 - 1000 dB/s. La tension d'entrée requise pour une pleine utilisation du compresseur est de l'ordre de 1 volt.

Excursion de fréquence:

Variable par bonds: 0 - ± 10 - ± 16 - ± 25 - ± 40 - ± 63 - ± 100 - ± 160 - ± 250 Hz.

Modulation de fréquence:

Elle est fournie par un oscillateur en dents de scie incorporé et peut varier par bonds de 1 - 1,6 - 2,5 - 4 - 6,3 - 10 - 16 - 25 Hz.

C. Amplificateur de microphone 2604:

Caractéristique de fréquence:

Linéaire à $\pm 0,3$ dB dans la gamme 20 Hz - 100 kHz

Linéaire à $\pm 0,5$ dB dans la gamme 10 Hz - 200 kHz

Entrées:

Un sélecteur permet de choisir l'une des trois entrées suivantes:
1. "Directe". Impédance d'entrée 1,1 M Ω en parallèle avec 30 pF.

2. "Potentiomètre d'entrée". Résistance d'entrée 500 k Ω environ. A utiliser pour des mesures relatives.
3. "Microphone condensateur". Douille à 7 prises pour microphones condensateurs B & K, oreille artificielle et préamplificateurs.

Réseaux de pondération:

"A", "B", et "C".

Sensibilité (déviaton de pleine échelle):

Entrée "Microphone condensateur":

Max. 40 dB SPL (microphone 4131)

Min. 130 dB SPL (microphone 4136)

Variable par bonds de 10 dB.

Entrée "Amplificateur d'entrée":

Max. 100 mV.

Min. 1000 V.

Distortion non linéaire, amplificateur d'entrée:

Inférieure à 0,1 % (10 - 200 000 Hz).

Indicateur de surcharge:

Visuel. S'éclaire lorsque l'entrée de l'amplificateur est surchargée.

Rapport signal/bruit:

Meilleur que 55 dB ("Linéaire") pour une amplification de 60 dB, dans la gamme de fréquences 10 Hz - 200 000 Hz.

Sortie "Enregistreur":

Impédance de sortie inférieure à 50 ohms en série avec 24 μ F. Tension de sortie maximale: approximativement 45 V de crête. Tension de sortie correspondant à une déviation de pleine échelle: environ 10 V.

Amplification:

Max. 100 dB.

Galvanomètre:

Echelle à miroir, illuminée. Parfaitement protégé contre les surcharges. Précision: approximativement 1 % de la pleine échelle.

Echelles: 0 - 10 et 0 - 31,6 V (linéaires), 0 - 20 dB (logarithmique) ainsi que 3 échelles graduées en % d'absorption pour les mesures d'absorption avec le tube de Kundt 4002. Un sélecteur permet de choisir deux caractéristiques différentes d'amortissement du galvanomètre (lente et rapide), conformément aux normes proposées par la C.E.I pour les sonomètres.

Indications du galvanomètre:

Plusieurs positions du commutateur de l'appareil permettent de lire:

la valeur de crête (demi-valeur crête à crête),
la valeur moyenne absolue,
la valeur efficace vraie.

Tension d'étalonnage:

Incorporée, ondes carrées à la fréquence du réseau. Stabilisée par diode Zener.

Tension de polarisation:

La tension de polarisation de la cartouche du microphone condensateur peut être réglée entre 150 et 250 volts.

V. Mise en oeuvre:

A. Mise en route du générateur de fréquences à battoment type 1022:

1°). S'assurer que l'appareil est alimenté, par la tension convenable. Le sélecteur disposé à l'arrière de l'appareil doit être sur la position "240 V". Relier l'appareil au secteur au moyen de la prise placée au-dessous de ce sélecteur.

2°). Mettre l'appareil sous tension: interrupteur "POWER" en position "On". Laisser chauffer l'appareil pendant 2 minutes environ.

3°). Etalonner l'appareil en suivant le processus ci-après:

31. Mettre le sélecteur "MODULATION FREQUENCY" sur la position "Mod. Off" (pas de modulation).

32. Mettre le sélecteur "COMPRESSOR SPEED" (vitesse du compresseur) sur la position "Comp. Off".

33. Amener l'index du vernier de fréquence (échelle horizontale -50, +50) sur 0 au moyen du bouton "FREQUENCY INCREMENT" (vernier de fréquence).

34. Amener l'aiguille du voltmètre dans la moitié droite du cadran au moyen du potentiomètre "OUTPUT LEVEL" (Niveau de sortie).

35. Presser le bouton "POWER FREQUENCY BEAT" (battement avec la fréquence de la tension d'alimentation) et le maintenir en position appuyée tout en tournant doucement le potentiomètre "FREQUENCY SCALE ALIGNMENT FINE" (réglage fin de l'échelle des fréquences) jusqu'à ce que l'on obtienne des battements très lents de l'aiguille du voltmètre. L'aiguille doit rester pratiquement immobile (en réalité, elle dérive toujours un peu).

Au cas où l'on éprouverait des difficultés au cours de cet étalonnage, faire appel à l'assistant chargé de la surveillance des travaux pratiques.

4°). Mettre le commutateur "MATCHING IMPEDANCE" sur la position "6 ohms". Relier la sortie "LOAD" (charge) à l'entrée du haut-parleur

du tube de Kundt. La tension de sortie maximale délivrée par le générateur est alors égale à 4 V. Le niveau de cette tension de sortie peut être réglé au moyen du potentiomètre "OUTPUT LEVEL" (niveau de sortie). On choisira un niveau de sortie convenable (entre 1 V et 3 V) de façon à obtenir une déviation appréciable sur le cadran du galvanomètre de l'amplificateur 2604.

B. Mise en route de l'amplificateur de microphone 2604:

- 1°). Voir 1°) de A.
- 2°). Mettre l'appareil sous tension: interrupteur "POWER" (alimentation) en position "On" (marche). Laisser l'appareil chauffer pendant 2 minutes environ.
- 3°). Contrôler la sensibilité de l'amplificateur au moyen de la tension de référence (donnée par "Ref."). Pour cela:
 31. Mettre le commutateur de réponse en fréquence "FREQUENCY RESPONSE SWITCH" sur la position "Lin 10 - 200 000 c/s".
 32. Mettre le commutateur d'entrée "INPUT SWITCH" sur la position "DIRECT".
 33. Mettre le sélecteur de gamme "MEETER RANGE" sur la position "Ref.".
 34. Mettre le commutateur de gain "RANGE MULTIPLIER" sur la position "x 1 (0 db)".
 35. Mettre le commutateur "MEETER SWITCH" (détection du galvanomètre) sur la position "R.M.S FAST" (valeurs efficaces, détection rapide). L'aiguille du galvanomètre doit alors venir en face du repère rouge placé dans la partie supérieure de l'échelle. Sinon, amener l'aiguille sur ce repère en tournant avec un tournevis le potentiomètre "SENSITIVITY AMPLIFIER INPUT" (sensibilité de l'amplificateur d'entrée).
- 4°). Mettre le commutateur "INPUT SWITCH" sur "INPUT POTENTIOMETER" et mettre le potentiomètre d'entrée "INPUT POTENTIOMETER" au 1/3 de sa course environ. Le potentiomètre de gamme sera placé par exemple sur la position "120 db SL, 10 V". (position d'attente).
- 5°). Relier l'entrée de l'amplificateur 2604, "AMPLIFIER INPUT", au microphone placé dans le chariot.

C. Exécution d'une mesure du coefficient α :

- 1°). Après avoir placé un échantillon de mesure dans le porte-échantillon, régler le niveau de sortie du générateur 1022 à une valeur convenable (3 V par exemple) au moyen du potentiomètre "OUTPUT LEVEL". Le niveau de sortie est lu directement en volts sur le cadran du galvanomètre du générateur.

2°). Placer le commutateur "MASTER RANGE" de l'amplificateur 2504 sur "60 db SL, - 50 db, 10 mV". Au moyen du potentiomètre d'entrée "INPUT POTENTIOMETER" on cherchera à obtenir une déviation suffisante (1/3 de l'échelle graduée environ) sur le cadran du galvanomètre. On se placera ensuite en un ventre de pression en cherchant à obtenir une déviation maximale de l'aiguille du galvanomètre. On amènera alors l'aiguille à l'extrémité de la graduation (sur l'index 100 %) au moyen du potentiomètre "INPUT POTENTIOMETER", puis on placera le chariot en un nœud de pression et on lira directement α sur l'échelle 0 - 100 %.

Si $30 \% \leq \alpha < 70 \%$, augmenter le gain de 10 db en mettant le commutateur de sensibilité "RANGE MULTIPLIER" sur la position "x 0,3 (-10 dB)" et lire α sur l'échelle 0 - 70 %.

Si $\alpha < 30 \%$, augmenter le gain de 20 db en mettant le commutateur de sensibilité "RANGE MULTIPLIER" sur la position "- 20 db (x 0,1)" et lire α sur l'échelle 0 - 30 %.

D. Travail à effectuer:

1°). Relever la courbe $\alpha = F(f \text{ Hz})$ dans la gamme de fréquences 90 - 6500 Hz pour un échantillon de mesure donné (feuille de contre-plaqué, contre-plaqué collé sur bois blanc, mousse de plastique ou autre).
On aura intérêt à prendre un grand nombre de points expérimentaux (une vingtaine par exemple) et à faire les mesures dans un sens (de 90 à 6500 Hz), puis dans l'autre sens (de 6500 Hz à 90 Hz) de manière à déceler des erreurs de manipulation accidentelles. Indiquer les dimensions (diamètre et épaisseur) et la nature de l'échantillon de mesure.

2°). Déterminer la vitesse du son pour les fréquences suivantes:
200 - 500 - 1000 - 2000 - 4000 - 6000 Hz.

Relever pour chaque mesure:

- la température de la salle
- la pression atmosphérique
- le degré d'humidité relative (en %).

Remarque:

Pour éviter des résonances parasites entre le haut-parleur et son bâti, serrer les vis de fixation reliant le tuyau au coffret du haut-parleur.

Manipulation n° 1.

Annexe

Démonstration des formules utilisées dans les mesures par ondes stationnaires (référence: notice Brüel & Kjaer 4002):

On sait que, dans le cas des ondes planes, les pressions sonores p_i et p_r des ondes incidente et réfléchie peuvent s'exprimer sous forme complexe par les relations suivantes:

$$\bar{p}_i = \bar{A} e^{j(\omega t - kx)}$$

$$\bar{p}_r = \bar{B} e^{j(\omega t + kx)}$$

avec $k = \omega/c = 2\pi f/c = 2\pi/\lambda$.

L'axe des x est orienté de la gauche vers la droite par exemple, et l'origine de cet axe est prise à la surface de l'échantillon. D'après ces conventions, on voit que l'onde incidente se déplace de la gauche vers la droite et l'onde réfléchie de la droite vers la gauche.

Comme on étudie les variations de pression en fonction de x , pour un instant donné t , on ne restreint pas la généralité de cette étude en prenant $t = 0$.

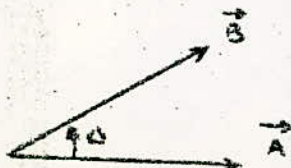
Les pressions \bar{p}_i et \bar{p}_r ont alors pour expressions

$$\bar{p}_i = \bar{A} e^{-jkx}$$

$$\bar{p}_r = \bar{B} e^{jkx}$$

Dans la représentation de Fresnel le nombre complexe \bar{p}_i est représenté par un vecteur de module $|\bar{A}|$ et le nombre complexe \bar{p}_r par un vecteur de module $|\bar{B}|$ et déphasé d'un angle Δ par rapport à \bar{A} . Pour $x = 0$, c'est-à-dire à la surface de l'échantillon, les positions relatives de ces vecteurs peuvent donc être représentées par la figure ci-contre en supposant

0. Nous pouvons écrire, pour $x = 0$



$$\bar{p}_r = |\bar{B}| \bar{p}_i e^{j\Delta}$$

Comme nous nous intéressons à ce qui se passe à l'intérieur du tube, c'est-à-dire pour $x < 0$, nous sommes amenés à considérer l'axe des y tel que $y = -x$.

Quand $y = -x$ augmente la phase du vecteur représentatif de \bar{p}_i augmente. Par conséquent ce vecteur tourne dans le sens indiqué par la figure ci-dessous (sens contraire des aiguilles d'une montre). Par contre, la phase du vecteur représentatif de \bar{p}_r diminue et ce vecteur tourne dans le sens des aiguilles d'une montre. Lorsque les directions de ces deux vecteurs coïncident on a un maximum de pression sonore dans le tube. Ce maximum est égal à $(1 + |r|)p_i$ avec $p_i = |\bar{A}|$. La coïncidence a lieu à une distance y_0 de l'échantillon telle que

$$\frac{2\pi y_0}{\lambda} = \Delta - \frac{2\pi y_0}{\lambda}$$

$$\Delta = \frac{4\pi y_0}{\lambda}$$

soit

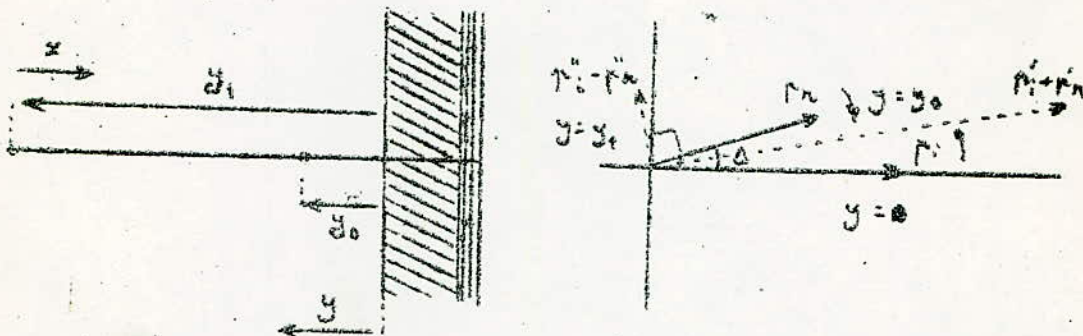


Diagramme vectoriel donnant les pressions p_i et p_r des ondes incidente et réfléchie à la surface de l'échantillon ($y = 0$), le premier maximum ($y = y_0$) et le premier minimum ($y = y_1$).

Puis les deux vecteurs prennent des directions opposées à une distance y_1 de l'échantillon telle que

$$\frac{2\pi y_1}{\lambda} + \frac{2\pi y_1}{\lambda} - \Delta = \pi$$

soit

$$\frac{4\pi y_1}{\lambda} = \pi + \Delta$$

Pour cette valeur de y on a un minimum de pression sonore dans le tube. Ce minimum est égal à $(1 - |r|)p_i$. On en déduit donc le quotient p_{\min}/p_{\max} ,

$$n = \frac{p_{\max}}{p_{\min}} = \frac{1 + |r|}{1 - |r|} \quad (3)$$

à partir de cette relation on retrouve les formules (1) et (2). Si nous définissons \bar{Z} comme l'impédance complexe à la surface de l'échantillon, nous avons

$$\bar{Z} = \frac{\bar{p}_i + \bar{p}_r}{v_i + v_r}$$

\bar{v}_i et \bar{v}_r étant les vitesses vibratoires complexes des ondes incidente et réfléchie.

Pour l'onde incidente, la relation entre pression et vitesse vibratoire s'écrit

$$\bar{p}_i = \rho c \bar{v}_i$$

et pour l'onde réfléchie

$$\bar{p}_r = -\rho c \bar{v}_r$$

En tenant compte des trois relations précédentes on obtient:

$$\frac{\bar{Z}}{W} = \frac{1 + \bar{r}}{1 - \bar{r}}$$

Cette relation entre les deux quantités complexes $\bar{r} = |\bar{r}| e^{j\alpha}$ et $\bar{Z}/W = p + jq$ (avec $W = \rho c$) est représentée par deux graphes que l'on trouvera dans la notice B & K 4002 mise à la disposition des élèves au cours de la manipulation (voir pages 7 et 10). Par conséquent, en mesurant le module et l'argument du facteur de réflexion, on peut déterminer par une lecture directe les parties résistive et réactive de l'impédance \bar{Z} .

MESURE du COEFFICIENT d' ABSORPTION

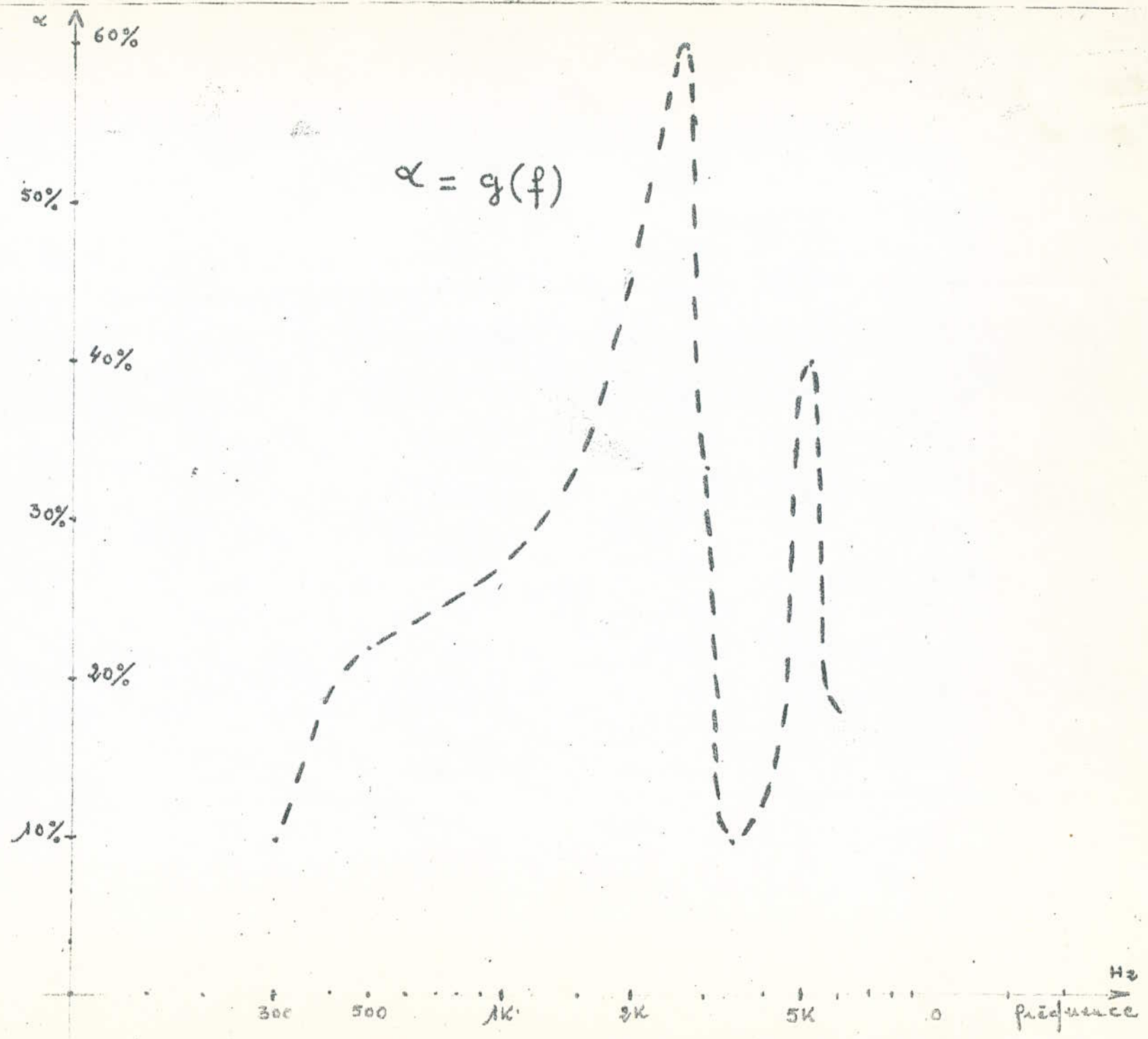
- ECHANTILLON : - Mousse de Plastique.
 - DIAMETRE : - 2,5 Cm
 - EPAISSEUR : - 0,3 Cm.
- Porte Echantillon : -
 - DIAMETRE : - 2,7 Cm.
 - LONGUEUR : -
- Petit Tube : -
 - Gamme de Fréquence : - 800 - 6500 HZ.
 - DIAMETRE : - 2,9 Cm.
 - LONGUEUR : - 28 Cm.
- MESURE : - Voir tableau de mesure.

Conclusion : Cette méthode n'est applicable que dans un gamme de fréquence limitée ; car le tube de Kundt peut être le siège d'ondes transversales s'il est trop large par rapport à $\frac{\lambda}{2}$. Nous avons la combinaison de 2 ondes harmoniques avec même fréquence et nombres d'ondes opposés : $y_1 + y_2 = 2 a \exp. (j\omega t) \cos kx$ représentant une onde stationnaire dont les noeuds ($y_1 + y_2 = 0$) sont distants de $\frac{\lambda}{2}$ ($\bar{x} = \frac{\lambda}{4} + n \frac{\lambda}{2}$) d'où on aura la distance entre deux minimums supérieur ou égale à $\frac{\lambda}{2}$ pour pouvoir mesurer avec la longueur de la tige 28 Cm. On a $\frac{\lambda}{2} \leq 28$ Cm d'où $\lambda \leq 56$ Cm et $\lambda = c/F \Rightarrow F \geq \frac{c}{56} = \frac{348}{0,56} = 621$ hz (cas limite : les noeuds aux extrémités) pour la limite supérieure de la fréquence on est limité par l'instabilité des noeuds et des ventres très proches ; la largeur du tube par rapport à $\frac{\lambda}{2}$; la variation de pression, la température qui interviennent dans l'instabilité : $600 \text{ hz} \leq F \leq 6 \text{ Khz}$

Vitesse du son : 348 m/s.

Mesure du Coefficient d'absorption

Fréquence	Mesure de α (%)					Position du Minimum (cm)							Position du Maximum (cm)							Vitesse Son. (m/s)		
	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	α	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}		7 ^{ème}	
200 Hz	Impossible						à cause de la longueur de la tige															
300 Hz						10%	26,7							33,7								
340 Hz						22%	23,4							33								
400 Hz						20%	19,2							32,1								
500 Hz						22%	14,7							31,8								342 m/s
600 Hz						19%	12,3							26,3								336 m/s
700 Hz						25%	10							22,2								342 m/s
800 Hz						20%	8,7	29,9						19,3								339 m/s
1 K Hz						23%	6,2	23,8						14,7	33							340 m/s
1,5 K Hz						33%	3,5	15,3	26,8					9,4	21,3	34,2						345 m/s
2 K Hz						46%	1,3	10,6	19,4	28				6,3	15	23,7						348 m/s
2,4 K Hz						58%		9	16,1	23,4	31			4,9	12,3	19,7	27,1					345 m/s
3 K Hz						29%		6,4	12,2	18	23,8	29,6		3,4	9,2	15	21	26,6	32,4			348 m/s
3,5 K Hz						11%		5,6	10,6	15,6	20,6	25,6	30,6		8,4	13,2	18	22,9	27,9	32,9		350 m/s
4 K Hz						13%		4,6	8,9	13,2	17,5	21,9	26,2		6,7	11	15,3	19,6	24	28,4		348 m/s
4,5 K Hz						14%		3,9	7,8	11,7	15,6	19,5	23,4		5,8	9,7	13,6	17,5	21,4	25,2		351 m/s
5 K Hz						40%	24,3	3,3	6,8	10,3	13,8	17,3	20,8		4,9	8,4	11,9	15,4	19,1	22,4		350 m/s
5,5 K Hz						16%	22	25,2	6	9,2	12,4	15,6	18,8	23,6	26,8	7,7	10,9	14,1	17,3	20,5		351 m/s
6 K Hz						17%	20,1	23	5,6	8,5	11,4	14,3	17,2	21,6	4,2	7,1	10	12,8	15,8	18,7		348 m/s



2éme - P A R T I E -

Manipulation n° 2

Utilisation d'un sonomètre. Mesure de niveaux de bruit. Spectrogramme sonore.

I. Objet de la manipulation:

On se propose dans cette manipulation:

1°). d'étudier, d'une manière très sommaire, les caractéristiques principales d'un sonomètre,

2°). d'utiliser cet appareil pour mesurer des niveaux de bruit et relever un spectrogramme sonore.

II. Rappel de quelques définitions:

(Références: notices Brüel & Kjaer 2203/1613, 2112, 2205).

21. Son:

Un son peut être défini de deux manières différentes.

"On peut le considérer comme une transmission d'énergie à travers des milieux solides, liquides ou gazeux sous forme de vibrations. Ces vibrations constituent des variations de pression ou de la position des particules de ce milieu.

On peut également le considérer comme la sensation auditive créée lorsque de telles vibrations, se propageant en principe dans l'air, frappent l'oreille."

La seconde définition apparaît comme la plus naturelle puisque l'oreille est, de tous les détecteurs de son, le plus ancien, le plus répandu et le moins coûteux jusqu'à nouvel ordre.

Cette définition est cependant la plus restreinte, puisqu'elle ne s'applique qu'aux vibrations dont la fréquence est comprise entre 20 Hz et 20 000 Hz, et encore pour des sujets ayant moins de 20 ans.

Remarque.- Il ne faudrait pas croire cependant que les ultra-sons et les infra-sons sont incapables de créer une sensation auditive. Les expériences de V. GAVREAU, R. CONDAT et H. SAUL au C.N.R.S. de Marseille ont montré que les ultra-sons sont directement audibles jusqu'à 26 kHz environ, à condition qu'ils soient suffisamment intenses (de l'ordre de 150 à 160 dB SL). Il en va de même pour les infra-sons jusqu'à 7 Hz et en deçà.

Référence: "ACUSTICA", 1966, Vol. 17, Heft. 1.

22. Fréquence:

La fréquence est l'une des caractéristiques d'un son pur. C'est dans un intervalle de temps d'une seconde, le nombre de variations de pression, de même sens et de même amplitude. La fréquence a les mêmes dimensions que l'inverse d'un temps. La fréquence est exprimée en Herz ou cycle/seconde. Un son de timbre grave, ou "basse", a une fréquence faible. Un son de timbre élevé, ou "aigu", a une fréquence élevée. La fréquence et le timbre (mesure subjective de la fréquence) ont des relations étroites.

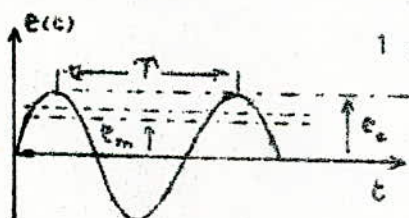
23. Amplitude:

La seconde caractéristique d'un son pur est son amplitude. L'amplitude d'un son, ou mesure de la variation de pression correspondante, est reliée à la force ou intensité subjective de ce son. On entend par intensité subjective l'intensité "appréciée" par l'oreille d'un auditeur normal. Le ronflement émis par un bourdon est un son de faible amplitude; la sirène d'un bateau est un son de forte amplitude. Dans la figure ci-dessous on peut voir les variations de pression associées à un son pur tracées en fonction du temps. D'après cette figure, on voit que la fréquence est égale à

$$f = \frac{1}{T}$$

T étant l'intervalle de temps, ou période, qui sépare deux crêtes.

Les variations de pression s'expriment normalement en newton par mètre carré (N/m^2). Cependant, pour des raisons de commodité, on préfère exprimer ces variations de pression en dyne/cm² ou microbar.



$$1 \text{ dyne/cm}^2 = 1 \text{ microbar} = 0,1 \text{ N/m}^2$$

24. Valeur de crête, valeur efficace et valeur moyenne:

La valeur de crête d'une fonction sinusoïdale ou périodique (ici la pression sonore) $e(t)$ de fréquence $f = 1/T$, est la valeur maximale $e_{\text{crête}} = e_c$ de $e(t)$ dans l'intervalle de temps T .

La valeur moyenne e_{moy} de $e(t)$ est définie par

$$e_{\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^T |e(t)| dt$$

La valeur efficace ou RMS (root-mean-square) de $e(t)$ est définie par

$$e_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [e(t)]^2 dt}$$

On définit également le facteur de crête:

$$F_c = e_c / e_{\text{eff}}$$

et le facteur de forme:

$$F_f = e_{\text{eff}} / e_{\text{moy}}$$

Pour une fonction sinusoïdale $e(t) = E \sin \omega t$, on a:

$$e_c = E; \quad e_{\text{moy}} = 2E/\pi = 0,636 E; \quad e_{\text{eff}} = E/\sqrt{2} = 0,707 E;$$

$$F_c = \sqrt{2} = 1,414; \quad F_f = 1,11.$$

25. Bruit:

Un bruit est généralement défini comme un son "indésirable". En réalité, cette définition n'est pas tout à fait correcte, car ce n'est pas tant le bruit lui-même qui est indésirable que son intensité.

(Notons à ce propos qu'un niveau minimal de bruit est nécessaire, la suppression de tout bruit de fond pouvant engendrer un sentiment d'inconfort). Il est donc préférable de définir le bruit comme un phénomène essentiellement non périodique constitué d'une suite de sons transitoires de courte durée. Un bruit peut être constitué par un petit nombre de fréquences ou, au contraire, par un nombre de fréquences extraordinairement élevé.

L'intensité d'un bruit peut, par ailleurs, descendre au niveau d'une conversation normale dans une bibliothèque et monter au niveau produit par le rugissement d'un réacteur d'avion sur un aérodrone. Dans certains cas particuliers, et spécialement dans les mesures acoustiques et électroacoustiques, il peut être très intéressant d'avoir à sa disposition une source de bruit "aléatoire". Le bruit aléatoire peut être défini comme un signal dont l'amplitude instantanée varie suivant les lois du hasard. Deux types de bruits aléatoires sont particulièrement intéressants. Ce sont:

a) le bruit aléatoire gaussien, dont l'amplitude se répartit suivant la fonction normale de répartition de Gauss. La courbe de densité de probabilité $p(x)$ aura pour équation:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2\sigma^2}$$

Cela signifie que la probabilité pour que l'amplitude x du signal aléatoire soit comprise entre x_1 et x_2 est égale à:

$$\int_{x_1}^{x_2} p(x) dx$$

Si le processus est "ergodique", est la valeur efficace du bruit.

b). Le bruit blanc aléatoire gaussien, qui est un bruit aléatoire gaussien dont le spectre de fréquences est continu et uniforme. Dans la bande de fréquence considérée (20 Hz - 20 kHz pour l'acoustique et l'électro-acoustique) il comporte une puissance égale par Hz de largeur de bande. On a intérêt à disposer d'une telle source de bruit car on peut de cette manière exciter simultanément toutes les résonances d'une salle à l'intérieur d'une certaine bande de fréquence; c'est un gros avantage lorsque l'on fait des mesures de temps de réverbération, de distribution sonore ou d'isolation sonore. Le bruit aléatoire et les sons naturels ayant des spectres d'amplitude semblables, on est par ailleurs certain d'exciter les résonances de la même manière que dans une salle "travaillant" dans des conditions normales.

26. L'oreille comme détecteur de son:

L'oreille est un détecteur de son d'une sensibilité remarquable puisqu'elle peut apprécier des variations de pression sonore allant de 0,0002 microbar (seuil d'audition) à 1 mbar (seuil de la douleur). La sensibilité est plus grande entre 1000 Hz et 6000 Hz et décroît aux fréquences supérieures aussi bien qu'inférieures. L'oreille n'est donc pas un instrument à réponse linéaire en fréquence, puisque deux sons de fréquences différentes, 100 Hz et 6000 Hz par exemple, et correspondants à des pressions sonores égales, ne sont pas "ressentis" par cet instrument comme également forts.

On sait que la réponse en fréquence de l'oreille peut être représentée par un réseau de courbes dites d'égale intensité sonore. Ces courbes montrent les intensités sonores en dB SL (référence 0,0002 microbar) que l'être humain moyen, pour différentes fréquences, estime entendre d'une manière également forte. Le niveau d'intensité sonore se mesure en phones et, à 1000 Hz, la valeur en phones est égale par convention à la valeur en dB SL. L'I.S.O., ou Organisation Internationale de Normalisation, a proposé un réseau normalisé de courbes d'égale intensité sonore, pour la bande de fréquences 20 Hz - 15 000 Hz. On trouvera des reproductions de ce réseau normalisé dans les différentes notices Brüel & Kjaer mises à la disposition des élèves pour la durée de la manipulation.

27. Echelle en décibels:

La sensibilité de l'oreille variant dans le rapport $10^6/1$, on conçoit aisément qu'il est commode, pour les calculs et les mesures, d'adopter une échelle logarithmique pour les intensités et les pressions sonores. Les pressions sonores seront évaluées en dB SL, référence 0,0002 microbar.

Cela signifie qu'une pression de p microbars sera exprimée en dB SL par la relation

$$P_{dB SL} = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0}$$

avec $p_0 = 0,0002$ microbar.

L'intensité sonore I et la puissance sonore W étant proportionnelles au carré de la pression sonore, ces grandeurs seront exprimées en dB par les relations

$$I_{dB} = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

avec $I_0 = 10^{-16}$ W/cm²
et

$$W_{dB} = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0}$$

avec $W_0 = 10^{-13}$ watt.

28. Octaves:

L'octave est une expression de mesure relative de fréquence.

Une octave au-dessus de la fréquence f_0 signifie $2f_0$.

Une octave au-dessous de la fréquence f_0 signifie $1/2 f_0$.

D'une manière générale, n octaves au-dessus de f_0 signifie $2^n f_0$, n étant un nombre réel positif; n octaves au-dessous de f_0 signifie $2^{-n} f_0$, n étant un nombre réel positif.

D'après cette définition, on voit aisément que 1/3 d'octave correspond approximativement à un rapport $f/f_0 = 1,26$ et que 1/2 octave correspond approximativement à $f/f_0 = \sqrt{2}$.

III. Mesure de l'intensité sonore; sonomètres:

Un champ sonore peut être défini par un certain nombre de paramètres: pression sonore, vitesse vibratoire, intensité, etc...

"La pression sonore est le paramètre que l'on détermine le plus facilement et c'est celui que l'on choisit en général comme objet de mesure. Ceci est dû au fait qu'il est beaucoup plus facile de construire et d'étalonner des microphones de pression à caractéristiques stables et couvrant une large gamme de pressions et de fréquences que des microphones de vitesse ou des systèmes de mesure d'intensités.

En outre, l'oreille, qui est si souvent le récepteur ultime des sons désirables ou indésirables que l'on veut mesurer, est un appareil acoustique sensible à la pression." (Beranek: "Acoustics")
Connaissant la pression exprimée en décibels SL, on peut calculer l'intensité sonore correspondante au moyen des formules données dans le paragraphe 2.7.

La sensibilité d'un bon microphone de précision du type à pression étant de l'ordre de quelques mV/ μ bar (les microphones utilisés au laboratoire ont une sensibilité moyenne de 5 mV/ μ bar), la tension délivrée par un tel microphone devra donc être amplifiée par

un préamplificateur de mesure.

Une chaîne de mesure de la pression sonore comprendra donc:

- un microphone étalonné du type à pression;
- un amplificateur étalonné;
- un appareil indicateur étalonné (galvanomètre, oscillographe ou enregistreur graphique).

Nous entendons par amplificateur étalonné un amplificateur dont la bande passante couvre toute la gamme de fréquences intéressante (en général 20 Hz - 20 000 Hz), le gain de cet amplificateur pouvant prendre un certain nombre de valeurs discrètes connues avec précision et sa sensibilité d'entrée étant ajustée sur celle du microphone. L'appareil indicateur couplé avec cet amplificateur devra permettre de lire directement le niveau sonore exprimé en dB.

31. Sonomètre:

Il serait évidemment souhaitable, pour mesurer les bruits et évaluer leurs effets sur les facultés auditives, d'avoir à sa disposition un appareil dont les indications seraient pondérées de manière à reproduire la réponse en fréquence de l'oreille sollicitée par ces différents bruits.

Les difficultés de réalisation d'un tel appareil étant considérables (aucun appareil de ce type n'existe à l'heure actuelle), la C.E.I. (Commission Electrotechnique Internationale) a proposé un certain nombre de normes permettant aux constructeurs d'une part de fabriquer un appareil de caractéristiques bien définies et aux utilisateurs d'autre part d'obtenir des résultats comparables, ces résultats étant obtenus dans des conditions bien spécifiées.

D'après ces recommandations, un sonomètre de précision devra comprendre l'un au moins des trois réseaux de pondération désignés par A, B, C (voir plus loin), et couvrir la gamme de fréquences 20 Hz-20 000 Hz avec des tolérances spécifiées dans un tableau que l'on trouvera en annexe.

Les tolérances sont relatives à l'ensemble de l'appareil et s'appliquent au fonctionnement de celui-ci en champ sonore libre dans une direction spécifiée par le constructeur (en général pour une incidence normale des ondes sonores).

A 1000 Hz, un sonomètre de précision devra fournir une lecture égale au niveau de pression sonore existant avant l'introduction de l'appareil avec une tolérance de ± 1 dB.

Le microphone doit être du type omnidirectionnel à pression. Les tolérances admissibles sur la variation de sensibilité avec l'angle d'incidence sont données dans un second tableau que l'on trouvera en annexe. Ces tolérances sont relatives au fonctionnement normal de l'appareil, l'observateur étant dans une position spécifiée par le constructeur.

L'amplificateur du sonomètre devra fonctionner (avec des corrections éventuelles fournies par le constructeur) dans la gamme de températures - 10°C, + 50°C. L'effet de l'humidité devra être inférieur à 0,5 dB pour un taux d'humidité relative compris entre 0 et 90%.

L'atténuation introduite par un connecteur ou câble de rallonge

reliant le microphone à l'entrée de l'amplificateur devra être inférieure à 0,5 dB.

Enfin, l'appareil indicateur (galvanomètre ou autre), doit être à lecture parabolique, c'est-à-dire capable d'additionner deux tons purs suivant la loi de la valeur efficace. Il doit également avoir deux caractéristiques d'amortissement: une caractéristique "rapide" et une caractéristique "lente" (norme CEI 179, conférence d'Helsinki).

La lecture est parabolique si, en présence de deux composantes sinusoïdales pures assez éloignées l'une de l'autre et non harmoniques, de pressions acoustiques respectivement égales à p_1 et p_2 (en valeurs efficaces), le sonomètre indique une valeur proportionnelle à

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2}$$

Si $p_1 = p_2$, $p = p_1 \sqrt{2}$. Donc $20 \log_{10} p = 20 \log_{10} p_1 + 3$

L'addition de deux composantes égales doit se traduire par un accroissement de 3 dB. (avec certaines tolérances spécifiées dans les normes).

Réseaux de pondération A, B, C

Pour simuler (d'une manière très approximative d'ailleurs) la réponse en fréquence de l'oreille à différents niveaux pour des sons purs, on a choisi conventionnellement trois filtres désignés par A, B, C. On trouvera les caractéristiques de fréquence de ces filtres en annexe.

D'après certaines normes ou recommandations, la mesure du niveau sonore d'un bruit devrait être exécutée de la manière suivante:

- on utilise le réseau A si le niveau du bruit est inférieur à 60 phones,
- on utilise le réseau B si le niveau du bruit est compris entre 60 et 130 phones,
- on utilise le réseau C si le niveau du bruit est supérieur à 130 phones.

Exemple: On lit 45 dB avec la courbe A, 50 dB avec la courbe B et 53 dB avec la courbe C. On en conclut que le niveau de bruit est égal à 45 phones.

Ces prescriptions n'ont pas été retenues par les organismes internationaux de normalisation. Toutefois, il est souhaitable d'exécuter les mesures de niveaux de bruit en utilisant ces trois réseaux de pondération. On peut obtenir ainsi un certain nombre de renseignements sur le spectre de fréquences du bruit.

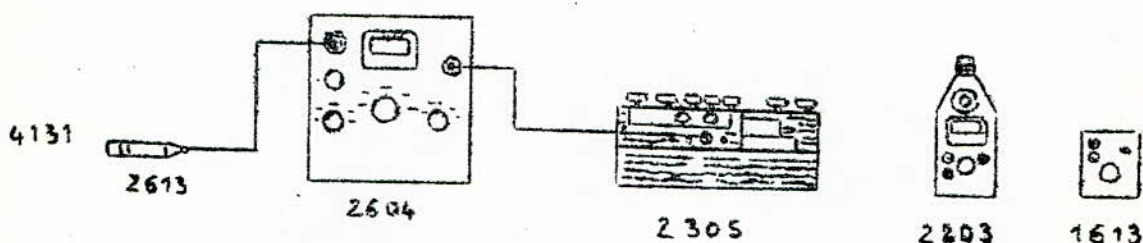
"Si les niveaux sonores mesurés avec les trois réseaux de pondération sont égaux, la plus grande partie de l'énergie sonore est probablement produite par des fréquences supérieures à 500 Hz.

"Si les réseaux B et C donnent des lectures voisines, le réseau A fournissant une valeur plus faible, le bruit est probablement prédominant pour les fréquences comprises entre 150 Hz et 1000 Hz.

"Enfin, si le niveau sonore est maximal avec le réseau C, ce sont les fréquences inférieures à 150 Hz qui prédominent.
 "Il ne faut pas oublier cependant que, bien que ces réseaux de pondération soient habituellement utilisés pour déterminer le niveau de force sonore d'un son pur, ils ne permettent pas d'évaluer le niveau de force sonore d'un son complexe." (Beranek, "Acoustics")

IV. Matériel utilisé:

- 1 microphone B & K 4131 + 1 cathode suivieuse B & K 2613.
- 1 amplificateur B & K 2604.
- 1 filtre d'octaves B & K 1613.
- 1 sonomètre B & K 2203.
- 1 enregistreur de niveau B & K 2305.



En reliant le microphone et sa cathode suivieuse à l'amplificateur 2604 on obtient un sonomètre de précision conforme aux normes internationales de la CEI. Les dimensions et le poids d'un tel sonomètre rendent cependant son usage peu commode. Le sonomètre 2203, qui satisfait également aux normes de la CEI, ne présente pas de tels inconvénients. Son encombrement et son poids réduits en font un instrument de travail extrêmement pratique. Au laboratoire, on utilisera ces deux sonomètres et on comparera les résultats fournis par ces deux appareils.

V. Caractéristiques principales de ce matériel:

5.1. Microphone 4131:

Microphone électrostatique (donc à pression).

Sensibilité: environ 5 mV/microbar (- 46 dB réf. 1 V/microbar).

Réponse en fréquence: linéaire de 20 Hz à 18 kHz à ± 2 dB, de 10 Hz à 15 kHz à ± 1 dB pour incidence 0° en champ libre.

Pour une incidence de 90° la variation de sensibilité est égale à:

- 1 dB (lire: moins 1 décibel) jusqu'à 2 kHz,
- 2 dB jusqu'à 3 kHz,
- 3 dB jusqu'à 4 kHz,
- 4 dB jusqu'à 5 kHz,
- 10 dB jusqu'à 10 kHz.

Coefficient de température: 0,01 dB/ $^\circ$ C.

Les caractéristiques précises sont des caractéristiques moyennes. Une fiche d'étalonnage est fournie avec chaque microphone et comprend les caractéristiques particulières de ce microphone (sensibilité, capacité, facteur de correction K par rapport à la sensibilité normale 5 mV/microbar, volume d'air équivalent, courbe de réponse

en champ libre pour une incidence normale).

5.2. Cathode suivieuse 2613:

Impédance d'entrée: 270 M Ω en parallèle avec 3 pF.

Impédance de sortie: 750 ohms environ.

Gain: - 0,8 dB \pm 0,2 dB.

Niveau de bruit inhérent: moins que 30 μ V (entrée chargée par 60 pF).

5.3. Amplificateur B & K 2604:

Se reporter au texte de la manipulation n° 1.

5.4. Filtre d'octaves 1613:

11 filtres, avec des bandes passantes larges de 1 octave. Les fréquences centrales sont choisies conformément aux normes de l'ISO (Organisation International de Normalisation). Elles ont pour valeurs:

31,5 - 63 - 125 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 4000 - 8000 - 16 000
31 500 Hz.

La gamme de fréquence globale couverte par ce jeu de filtre est donc 22 Hz - 45 kHz.

Les réponses en fréquence de ces filtres seront fournies aux élèves au cours de la manipulation. Le choix de ces filtres est assuré par un sélecteur manuel. On peut court-circuiter les filtres en plaçant le sélecteur sur la position "Lin."

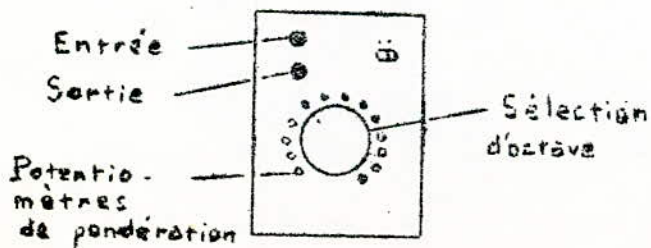
A l'intérieur de la bande passante de chaque filtre l'atténuation est égale à 0 dB \pm 0,5 dB. Des potentiomètres de pondération actionnés au moyen d'un tournevis peuvent procurer une atténuation au plus égale à 50 dB dans la bande passante de chaque filtre lorsque le commutateur "WEIGHTING SWITCH" est placé sur la position "On" (dans la position "Off" les potentiomètres de pondération n'agissent pas).

Un potentiomètre de pondération est également prévu pour la position "Lin."

L'impédance de sortie de la source alimentant l'entrée du filtre doit être inférieure à 25 ohms.

L'impédance de charge du filtre doit être égale à 146 kohms en parallèle avec 40 - 60 pF.

La tension d'entrée maximale que l'on peut appliquer au filtre sans distortion appréciable est approximativement égale à 1 V.



5.5. Enregistreur 2305:

Gamme de fréquences:

2 Hz - 200 kHz, \pm 0,5 dB (réf. 1000 Hz) le potentiomètre d'entrée étant placé sur des positions voisines de 0 ou de 10.

Pour les autres positions, la

caractéristique de fréquences est plate à ± 1 dB.

Sensibilité maximale:

C'est la tension minimale au dessous de laquelle il n'y a pas de déviation du stylet sur le papier enregistreur. Elle est égale à 5 mV environ (exception: 50 mV pour un potentiomètre de gamme 10 décibels).

Gamme dynamique:

La gamme dynamique est la gamme (linéaire ou logarithmique) des tensions qui correspondent à une déviation "lisible" sur le papier d'enregistrement.

Exemple: Pour un potentiomètre de gamme 50 dB (réf. 10 mV), si l'on utilise un papier semi-logarithmique de 100 mm par exemple, la gamme de tensions s'étend de 10 mV (index d'enregistrement sur la graduation 0) à 3,16 V (index d'enregistrement sur la graduation 50). Les déviations de l'index sont lues en dB réf. 10 mV.

Des précisions supplémentaires concernant les lectures de tensions et de niveaux sonores seront fournies dans le paragraphe "Misc on oeuvre".

Le potentiomètre de gamme utilisé au laboratoire est un potentiomètre de 50 dB (10 mV - 3,16 V). Sa précision est égale à $\pm 0,3$ dB.

Pouvoir de résolution:

Le pouvoir de résolution de l'enregistreur est sa capacité d'enregistrer les faibles variations de niveau d'un signal.

Ce pouvoir de résolution est meilleur que 0,25 mm d'échelle pour un papier de 50 mm, et meilleur que 0,5 mm d'échelle pour un papier de 100 mm.

Caractéristiques d'entrée:

Impédance d'entrée: 16 - 18 k Ω en parallèle avec 100 - 120 pF (la valeur exacte de l'impédance dépend de la position du potentiomètre).

Tension d'entrée maximale: 100 V.

Le potentiomètre d'entrée fournit une atténuation continuellement variable de 0 à 12 dB.

L'atténuateur d'entrée fournit une atténuation maximale de 60 dB, réglable au moyen de 6 échelons de 10 dB chacun.

La tolérance est de $\pm 0,25$ dB par rapport à la position "0".

Réponse du redresseur:

On peut lire la valeur efficace, la valeur moyenne (arithmétique) et la valeur de crête (demi crête à crête) de la tension appliquée à l'enregistreur. Le choix du type de réponse du redresseur est assuré par un sélecteur placé sur l'appareil.

La valeur efficace est lue à $\pm 0,5$ dB près pour des facteurs de crête allant jusqu'à 5.

La valeur arithmétique moyenne d'un signal peut être lue à condition que $F_c F_f \leq 5$ (soit $e_c/e_{\text{moy}} \leq 5$).

Vitesse d'écriture:

La vitesse d'écriture, qui est liée à la constante de temps du système d'écriture, peut être choisie au moyen d'un sélecteur marqué "WRITING SPEED". La vitesse la plus lente est égale à 2 mm/s; la vitesse la plus rapide est égale à 2000 mm/s.

Pour un papier de 100 mm et pour un potentiomètre de gamme 50 dB, cela signifie que le système enregistreur peut reproduire fidèlement des variations de niveau allant jusqu'à 1000 dB/s.

Stabilité générale:

Meilleure que $\pm 0,2$ dB en déflexion (déviaton de l'index enregistreur) pour une variation de la tension du secteur de $\pm 10\%$.

Tension d'étalonnage:

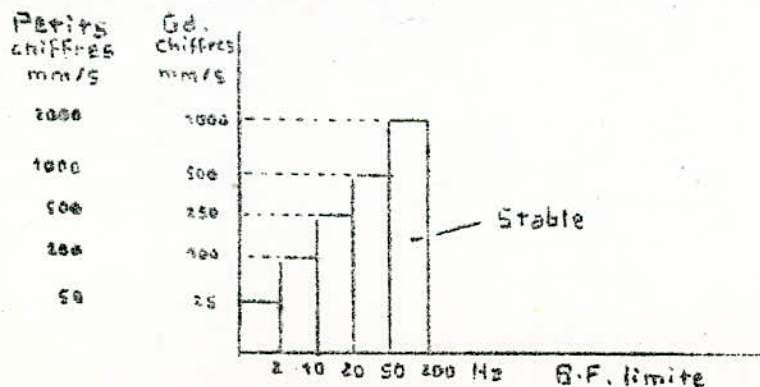
Signal carré incorporé, à la fréquence du secteur, de 100 mV efficaces. L'étalonnage de l'enregistreur n'est correct qu'avec une détection quadratique.

Fréquence basse-limite:

La fréquence basse limite est la fréquence la plus basse à laquelle l'enregistreur répond correctement. On peut choisir 5 valeurs:

2, 10, 20, 50 et 200 Hz au moyen du sélecteur marqué "LOW LIMITING FREQUENCY". Si le sélecteur est placé par exemple sur la position 20 Hz, cela signifie que la réponse en fréquence de l'enregistreur est plate de 20 Hz à 200 kHz.

Le choix de la fréquence basse limite n'est pas indifférent. Il dépend du choix de la vitesse d'écriture. La stabilité de fonctionnement de l'enregistreur n'est garantie que si le point représentatif du couple "vitesse d'écriture-fréquence basse limite" est situé dans la zone hachurée représentée ci-dessous.



Les grands chiffres correspondent à une largeur de papier d'enregistrement de 50 mm; les petits chiffres à une largeur de papier de 100 mm.

Exemple:

Une vitesse d'écriture de 500 mm/s et une fréquence basse limite de 20 Hz donneront une opération stable. Avec une vitesse d'écriture de 500 mm/s et une fréquence basse limite de 10 Hz on risque d'avoir une opération instable.

Vitesse de papier:

On peut obtenir 12 vitesses de papier différentes au moyen d'un sélecteur marqué "PAPER SPEED". La vitesse minimale est égale à 0,0003 mm/s; la vitesse maximale est égale à 100 mm/s.

Un levier d'engrenage de synchronisation est placé sur le côté droit de l'appareil (levier "X"). Lorsque ce levier est en position tirée, la vitesse du papier est indiquée par les petits chiffres groupés autour du sélecteur "PAPER SPEED"; lorsque ce levier est en position poussée, la vitesse du papier est indiquée par les grands chiffres.

5.6. Sonomètre 2203:

Le sonomètre 2203 a des caractéristiques très voisines de celles de l'ensemble:

microphone 4131 + cathode suivouse 2613 + amplificateur 2604.

Nous ne donnons ci-dessous que les caractéristiques qui le différencient de l'ensemble précédent. (référence: notice B & K 2203/1613)

Gamme de mesure:

Avec un microphone de 1 pouce 4131:

Linéaire	42 - 134 dB
Courbe C	32 - 134 dB
Courbe B	25 - 134 dB
Courbe A	22 - 134 dB
Octave	22 - 134 dB
1/3 d'octave	18 - 134 dB

Pour les mesures avec filtres d'octave et 1/3 d'octave, les valeurs minimales indiquées ne sont correctes que pour les fréquences supérieures à 120 Hz. Au voisinage des limites inférieures de fréquence (31,5 Hz pour le jeu de filtres 1613) ces valeurs peuvent être de 8 dB supérieures.

Ces mesures sont relatives à des pressions sonores efficaces.

On peut relever la limite supérieure de cette gamme (au détriment de la limite inférieure) en utilisant un microphone de dimensions plus faibles (par exemple: microphone B & K d'un demi-pouce 4133).

Réponse en fréquence des amplificateurs:

Pour une gamme de température de 10 à 60°C:
linéaire de 40 Hz à 20 kHz à $\pm 0,5$ dB.

linéaire de 20 Hz à 25 kHz à ± 1 dB.
linéaire de 10 Hz à 25 kHz à ± 2 dB.
Pour une gamme de température de -10 à $+60^{\circ}\text{C}$.
linéaire de 200 Hz à 12,5 kHz à $\pm 0,5$ dB.
linéaire de 20 Hz à 20 kHz à $+1$ et -5 dB.
Amplification: 110 dB. Filtres de pondération A, B, et C incorporés.

Impédance d'entrée:

"Environ 300 mégohms en parallèle avec 2,8 pF."

Sortie:

Impédance de sortie: 350 ohms.
Capacité maximale de charge: 1000 pF.
L'erreur d'indication est inférieure à 0,5 dB pour une charge de 10 kilohms.
Tension de sortie maximale: 13 V de crête en circuit ouvert, 10 V de crête avec charge de 10 kilohms. La pleine déflexion correspond à une tension de sortie d'environ $3 V_{\text{eff}}$.

Filtres extérieurs:

L'impédance de sortie du premier étage amplificateur à la prise "Ext. Filter in" est égale à 25 ohms.
L'impédance d'entrée du second étage amplificateur à la prise "Ext. Filter out" est égale à 146 kilohms.

Bruit inhérent:

Linéaire: maximum $55 \mu\text{V}$ ramenés à l'entrée.
Courbe A: maximum $7 \mu\text{V}$ ramenés à l'entrée.

Tension de polarisation:

Alimentation stabilisée de 200 V.

Galvanomètre:

Le galvanomètre est gradué de -10 à $+10$ dB.
Divisions de l'échelle de 1 dB de -10 à 0 dB.
Divisions de l'échelle de 0,5 dB, de 0 à $+10$ dB.
Précision de l'échelle: 0,5 dB pour déflexions inférieures à 0 dB; 0,2 dB + 3% du nombre de dB inférieur à la pleine déflexion pour les valeurs supérieures à 0 dB.
Précision des atténuateurs: 0,2 dB.
La détection est du type quadratique. Deux caractéristiques d'amortissement: lente ("Slow") et rapide ("Fast"), correspondant aux recommandations de la CEI pour sonomètres de précision.

Caractéristiques directionnelles:

Aux basses fréquences, l'appareil est complètement omnidirectionnel

sans surface réfléchissante: Pour les fréquences plus hautes, la sensibilité varie avec l'angle d'incidence. A 90° la variation est de ± 1 dB jusqu'à 3 kHz, (+ 1, - 2)dB à 4kHz, (+ 1, - 7)dB à 8 kHz et (+ 1, - 12,5)dB.

Effet de l'humidité:

L'appareil est prévu pour fonctionner dans une humidité de 0 à 90%; l'erreur est inférieure à 0,5 dB dans cette gamme. Quand l'appareil est soumis à une humidité extrême pour une longue période, il peut être nécessaire de réétalonner au moyen du pistonphone ou d'autres méthodes acoustiques.

Sensibilité de l'amplificateur au niveau sonore:

Exposé à un champ sonore d'environ 120 dB et en remplaçant le microphone par une impédance équivalente, la déflexion de l'appareil de mesure est inférieure de plus de 40 dB à ce qu'elle serait avec un microphone en place.

Sensibilité au champ magnétique:

placé dans un champ magnétique de 50 oersted à une fréquence de 50 Hz la déflexion correspond à un niveau sonore de 70 dB. La sensibilité aux champs électrostatiques est extrêmement faible quand la grille de protection est en place.

Effet des variations de la pression statique:

La sensibilité varie de moins de 0,2 dB pour une variation de 10% de la pression statique ambiante.

VI. Mise en oeuvre:

A. Mise en route de l'amplificateur 2604:

- 1°). Après avoir vérifié la tension d'alimentation (sélecteur sur 240 V), faire chauffer l'appareil pendant 2 minutes au moins. Les boutons placés sur le panneau avant de l'appareil devront avoir la disposition suivante:
 - "METER RANGE" sur "Ref."
 - "RANGE MULTIPLIER" sur "0 db (x1)"
 - "WEIGHTING NETWORK" sur "Lin. 10 - 200 000"
 - "INPUT SWITCH" sur "Direct"
 - "METER SWITCH" sur "RMS - Fast".

- 2°). Régler la sensibilité de l'amplificateur d'après les indications fournies dans la première manipulation (§ IV. B).

B. Utilisation de l'amplificateur en sonomètre:

- 1°). Enfoncer la prise à 7 broches de la cathode suiveuse 2612 dans

La douille "CONDENSER MICROPHONE".

2°). Visser la cartouche du microphone 4131 sur l'entrée de la cathode suiveuse 2612. Le microphone devra être muni de sa grille de protection.

3°). Mettre le commutateur "INPUT SWITCH" sur "Condenser Microphone". Relever sur la fiche d'étalonnage du microphone le facteur K (exprimé en dB) et amener l'aiguille du galvanomètre sur la graduation: "lecture correspondant au repère rouge + K_{dB} " (soit $16 + K_{dB}$) au moyen du potentiomètre "Sensitivity Condenser Microphone". Le sonomètre est alors étalonné.

Justification:

La sensibilité de l'amplificateur est réglée normalement pour un microphone de sensibilité $\sigma_0 = 5 \text{ mV/microbar}$. Si la sensibilité σ du microphone n'est pas égale à 5 mV/microbar , les lectures de niveau sonore en dB devront subir une correction égale à

$$K_{dB} = 20 \log_{10} \frac{\sigma}{\sigma_0} .$$

Cette correction peut être faite une fois pour toute grâce à une tension de référence fournie par l'appareil lorsque le commutateur de gamme "METER RANGE" est sur la position "Ref.". Il suffit d'ajouter à la valeur normale de la déviation (graduation en trait rouge) le facteur de correction K_{dB} . Bien entendu, ce facteur de correction peut être aussi bien négatif ($\sigma > \sigma_0$) que positif ($\sigma < \sigma_0$).

4°). Le microphone étant placé dans le champ sonore à étudier (salle du laboratoire par exemple), tourner le commutateur "METER RANGE" dans le sens contraire des aiguilles d'une montre de façon à obtenir une déviation lisible sur l'échelle en dB.

Si nécessaire, augmenter le gain au moyen du commutateur de gain "RANGE MULTIPLIER".

Lorsque le niveau du bruit à étudier est rapidement variable (bruit de fond par exemple) on aura intérêt à augmenter l'amortissement du galvanomètre de façon à pouvoir suivre des yeux les mouvements de l'aiguille. On peut ainsi lire plus facilement le niveau "moyen" du bruit considéré. A cet effet, on placera le commutateur "METER SWITCH" sur "RMS Slow".

5°). Le niveau sonore est égal à:

déviation de l'aiguille en dB + nombre de dB SL indiqué par le sélecteur de gamme "METER RANGE" - nombre de dB indiqué par le commutateur de gain "RANGE MULTIPLIER".

Exemple: "METER RANGE": 80 dB SL
"RANGE MULTIPLIER": -10 db (x 0,1)
Déviation du galvanomètre: 10 dB

$$P_{dB} = 80 - 10 + 10 = 80$$

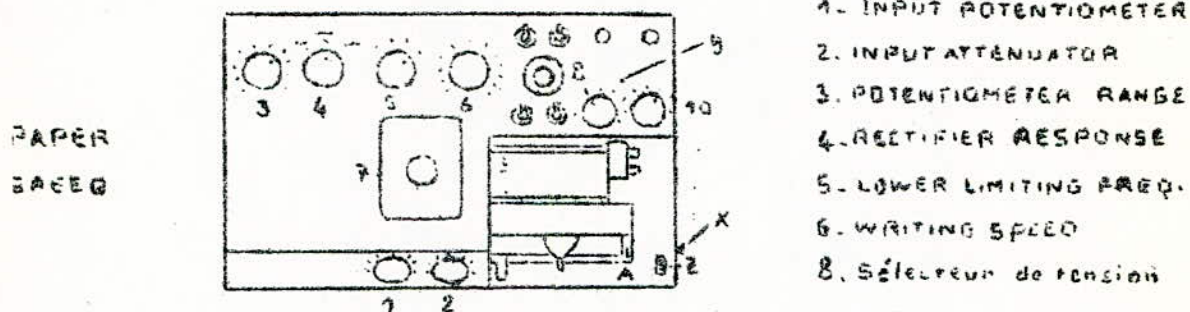
C. Utilisation de l'enregistreur 2305:

1°). Après avoir vérifié que le sélecteur de tension placé sur le dessus de l'appareil est dans la position "240 V", mettre les interrupteurs "POWER" et "MOTOR" sur "On". Laisser chauffer l'appareil pendant 2 ou 3 minutes.

2°). En attendant, placer les sélecteurs:

- "POTENTIOMETER RANGE" sur "50"
- "RECTIFIER RESPONSE" sur "RMS"
- "LOWER LIMITING FREQUENCY" sur "20"
- "WRITING SPEED" sur 160 - 3.5
- "PAPER SPEED" sur 10 - 1
- "ATTENUATOR INPUT" sur "0"

Les interrupteurs de commande du papier "PAPER DRIVE" seront placés sur les positions "Stop" et "Forward" (Marche avant). Le levier X de l'engrenage de synchronisation placé sur le côté de l'appareil doit être en position tirée.



3°). Au moyen du bouton moleté Z placé à l'extrême droite du système d'enregistrement amener la ligne 10 Hz du papier (ligne de départ de l'enregistrement) sous l'extrémité de la plume.

Abaisser la plume sur le papier au moyen du bouton moleté noir A.

4°). L'appareil étant chaud, étalonner l'enregistrement de la façon suivante:

41. Presser le bouton poussoir 100 mV Ref. Le stylet enregistreur subit une déviation verticale.

42. Amener ce stylet sur la ligne 20 dB au moyen du potentiomètre d'entrée "INPUT POTENTIOMETER".

(La ligne 0 dB correspond alors à 10 mV, la ligne 20 dB à 100 mV, la ligne 40 dB à 1 V, la ligne 50 dB à 3,16 V.

5°). Après avoir choisi une vitesse d'écriture et une vitesse de papier convenables, relier l'entrée "INPUT" de l'enregistreur à la sortie "RECORDER" de l'amplificateur 2604.

Si la déviation du stylet d'enregistrement sort des limites du papier, tourner l'atténuateur d'entrée "ATTENUATOR INPUT" dans le sens contraire des aiguilles d'une montre de façon à obtenir une déviation comprise entre 0 et 50 dB.

6°). Mettre l'interrupteur "Stop-Start" de la commande de papier sur "Start". Démarrer l'enregistrement en pressant le bouton poussoir "Single Chart-Cont. Recording" (enregistrement unitaire-enregistrement continu). Maintenir la pression jusqu'à ce que l'on entende un déclic. Le relais de l'interrupteur automatique est alors enclenché et on enregistrera un diagramme de 250 mm. L'interrupteur automatique débraille ensuite le mécanisme d'entraînement.

7°). Le niveau sonore est égal à:

Déviations de l'index en dB + 80 - Gain de l'amplificateur 2604 en dB + Atténuation (luc sur "ATTENUATOR INPUT") à l'entrée de l'enregistreur.

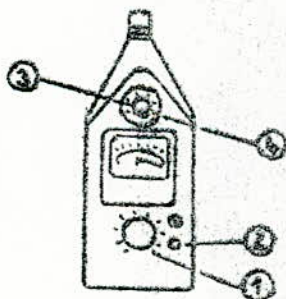
Exemple:

Déviations: 28 dB
 "ATTENUATOR INPUT": 30 dB
 "METER RANGE": 60 dB SL, -60 db
 "RANGE MULTIPLIPLIER": -20 db

Alors $G = 60 + 20 = 80$ dB
 $p = 28 + 80 - 80 + 30 = 58$ dB

D. Utilisation du sonomètre 2203:

1°). Pour mettre l'appareil sous tension, tirer le commutateur 1 vers le haut. La mise sous tension est indiquée par le clignotement de la lampe témoin 2).



2°). Placer le commutateur 1 sur la position "Batt". Vérifier alors que l'aiguille dévie jusqu'à l'intérieur du secteur marqué "Battery". Sinon, demander à l'assistant de changer les piles.

3°). Placer le commutateur 1 sur la position "Lin".

4°). Tourner le commutateur 4 (couronne transparente) à fond dans le sens des aiguilles d'une montre.

5°). Tourner le commutateur 3 (couronne noire) jusqu'à ce que "Ref" apparaisse à droite dans le cercle rouge.

6°). La déviation de l'aiguille doit alors correspondre à la valeur en dB du facteur "K" indiqué sur la fiche d'étalonnage du microphone. Cette valeur doit être lue sur l'échelle inférieure indiquée par "Microphone K factor".

Si la déviation ne correspond pas à la valeur de K, ajuster la en tournant le potentiomètre "Adj." à l'aide d'un tournevis.

7°). Rechercher, d'abord à l'aide du commutateur 3, puis si nécessaire, à l'aide du commutateur 4, une sensibilité convenable de l'amplificateur d'entrée donnant une déviation comprise entre 0 et 10 dB. La lecture du niveau sonore en dB se fait en ajoutant le nombre situé dans le cercle rouge au nombre indiqué par l'aiguille.

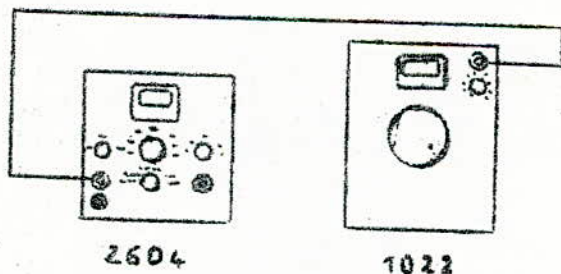
3°). Pour les mesures pondérées en dB-A, B ou C, le commutateur 1 doit être placé sur la position correspondante, au lieu de "Lin".

9°). Si l'on veut utiliser le filtre d'octave 1613 pour faire une analyse du spectre de fréquence du bruit étudié, on reliera cet appareil au sonomètre au moyen de la barrette spéciale fournie avec Les instruments.

Le commutateur 1 du sonomètre sera alors placé sur la position "Ext. Filt."

II. Travail à faire:

°). Relever les courbes de réponse des filtres A, B et C de l'amplificateur 2604. En principe, ces courbes de réponse devraient être relevées en champ libre. Les conditions de champ libre ne pouvant être réalisées au laboratoire, on contrôlera les courbes de réponse des trois filtres au moyen d'un signal électrique (par exemple 300 mV) sinusoïdal fourni par le générateur 1022. On utilisera la sortie atténuée "ATTENUATOR OUTPUT" de l'oscillateur, le commutateur d'atténuation étant sur la position "400 mV (-30 dB)". Pour évaluer l'atténuation introduite par l'un des réseaux de pondération, le réseau A par exemple, on réglera le niveau de sortie du générateur de façon à obtenir une déviation de pleine échelle (correspondant à 300 mV), le commutateur "FREQUENCY RESPONSE SWITCH" étant sur la position "Lin". Puis on placera ce commutateur sur la position A et on lira directement l'atténuation en dB.



On fera ce contrôle pour les fréquences suivantes:
20 - 40 - 80 - 160 - 315 - 630 - 1000 - 2000 - 4000 - 8000 - 12 500 - 20000 Hz.
Comparer les résultats obtenus avec les réponses normalisées des filtres A, B, C fournies en annexe.

Travail facultatif: Même chose pour les filtres A, B, C du sonomètre 2203.

2°). Mesurer le niveau sonore de la salle.

a). Avec l'amplificateur 2604 utilisé en sonomètre:

Le commutateur "MBIER SWITCH" sera placé sur "RMS Slow". On fera des lectures pendant 5x1 minutes, de 5 s en 5 s pour chaque série de mesures.

On utilisera successivement les positions suivantes du commutateur de pondération: "Lin.", "A", "B", "C".

Le microphone sera placé au centre de la salle. On utilisera un câble de rallonge et on tiendra compte de l'atténuation introduite par ce câble. Conclure.

b). Avec le sonomètre 2203:

Le commutateur 1 sera placé sur "Slow". On fera les lectures comme indiqué ci-dessus.

On utilisera successivement les positions suivantes du commutateur 1: "Lin.", "A", "B", "C".

Le sonomètre sera placé au centre de la salle.

A partir des résultats précédents on exprimera le niveau sonore de la salle en phones DIN (voir annexe).

3°). Reprendre la mesure précédente pendant 12x30 s avec le filtre d'octaves et l'amplificateur 2604, puis avec ce même filtre et le sonomètre 2203.

On fera une série de mesures pendant 30 s pour chaque position du sélecteur. Conclure.

4°). Relever le spectrogramme sonore du bruit de la salle au moyen de l'enregistreur de niveau 2305. On prendra une vitesse de papier de 1 mm/s et une vitesse d'écriture égale à 125 mm/s.

L'index de l'enregistreur sera placé initialement sur la ligne 20 Hz et le sélecteur du filtre d'octave sera sur "31,5".

L'index de l'échelle de fréquences du générateur 1022 servira d'indicateur visuel de fréquence. Un flexible relie mécaniquement ce générateur à l'enregistreur de niveau 2305. On placera l'index de l'échelle de fréquences du générateur 1022 sur la graduation 20 Hz et on mettra le commutateur "AUTOMATIC SCANNING" (balayage automatique) sur "On".

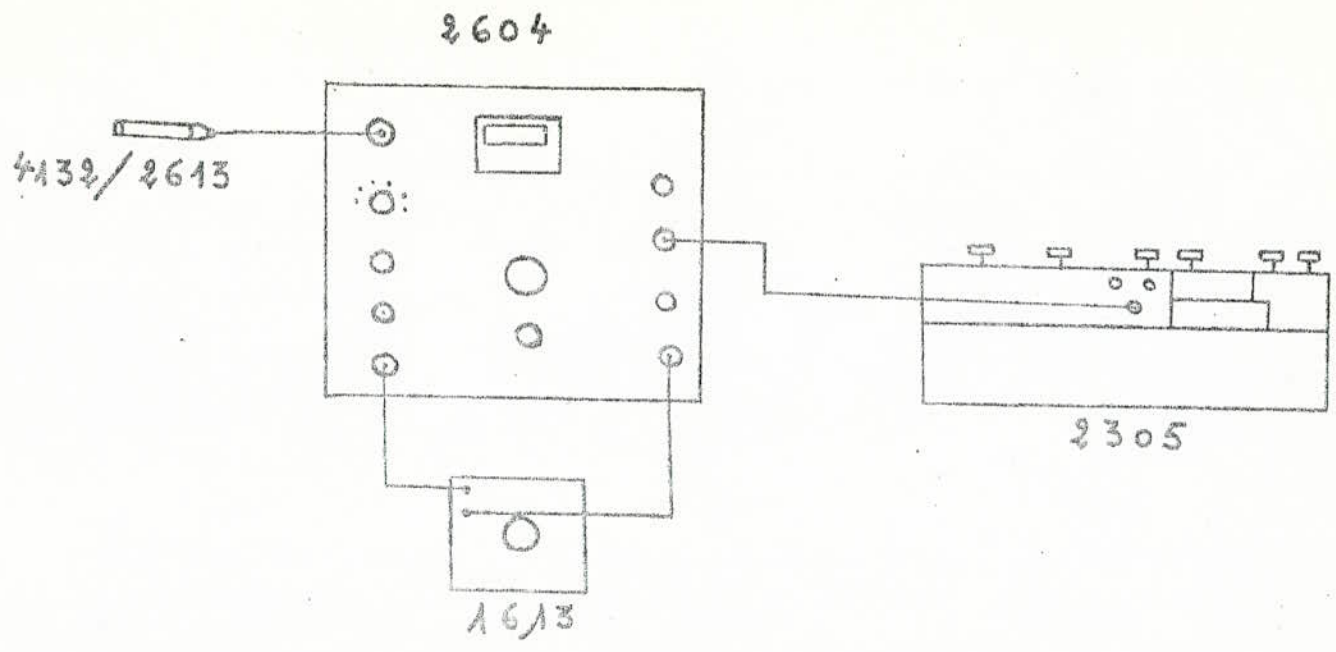
Le moteur de l'enregistreur entraîne alors l'échelle de fréquences. La vitesse de défillement du papier est synchronisée avec la vitesse de rotation de l'index de l'échelle de fréquences.

On démarrera l'enregistrement et on se conformera aux indications suivantes:

Index de fréquence du 1022
sur:

Sélecteur du jeu de filtres
sur:

45 Hz	63
90 Hz	125
180 Hz	250
350 Hz	500
700 Hz	1000
1400 Hz	2000
2800 Hz	4000
5700 Hz	8000
11400 Hz	16000



Manipulation n° 2.

Annexe

I. Caractéristiques normalisées des filtres A, B, C avec leurs tolérances:

Fréquence Hz	"A" dB	"B" dB	"C" dB	Tolérances pour sonomètres ordinaires	Tolérances pour sonomètres de précision
10	-70,5	-38,5	-14,5	+5 - -	+5 - -
20	-50,4	-24,4	-6,3	+5 - -	+5 - -5
40	-34,5	-14,2	-2,0	+3 - -3	+3 - -3
80	-22,3	-7,4	-0,5	+2 - -2	+2 - -2
160	-13,2	-3	-0,1	+2 - -2	+1 - -1
315	-6,5	-0,9	0	+2 - -2	+1 - -1
630	-1,9	-0,1	0	+2 - -2	+1 - -1
1000	0	0	0	+1 - -1	0 - 0
2000	+1,2	-0,2	-0,2	+2 - -2	+1 - -1
4000	+1,0	-0,8	-0,8	+3 - -3	+2 - -2
8000	-1,1	-3,0	-3,0	+4 - -4	+3 - -3
12500	-4,2	-6,0	-6,0	+5 - -10	+5 - -5
20000	-9,2	-14,0	-11,1	+5 - -	+5 - -

II. Tolérances admissibles sur la sensibilité d'un microphone de précision lorsque l'angle d'incidence varie de $\pm 90^\circ$:

Fréquence Hz	Tolérances pour sonomètres ordinaires (dB)		Tolérances pour sonomètres de précision (dB)	
	Colonne A	Colonne B	Angles jusqu'à $\pm 90^\circ$	Angles inférieurs à 30°
31,5 - 500	± 1	± 1	± 1	$\pm 0,5$
jusqu'à 1000	$\pm 1,5$	+ 1 - - 2	± 1	$\pm 0,5$
" 2000	± 4	+ 1 - - 6	+1--2	$\pm 0,5$
" 4000	± 8	+ 1 - - 8	+1--3	+0,5 -1-1
" 8000	± 15	+ 1 - -15	+1--6	+0,5 - -1,5
" 12500	non spécifiées		+1--10	+0,5 - -2

Remarque: Les valeurs portées dans la colonne A se rapportent aux mesures faites avec un microphone monté sur le sonomètre, l'opéra-

tour n'étant pas dans le champ sonore.
Les valeurs portées dans la colonne B se rapportent aux mesures faites sur le microphone seul, séparé mécaniquement du sonomètre mais relié électriquement à celui-ci, l'opérateur n'étant pas dans le champ sonore.

III. Phones DIN (normes allemandes DIN 5045):

Si le niveau sonore mesuré avec le réseau de pondération A est compris entre 30 et 60 dB(A), ce niveau mesuré avec le réseau B étant inférieur à 60 dB(B), le niveau sonore exprimé en phones DIN sera égal à la lecture en dB(A).

Si le niveau sonore mesuré avec le réseau de pondération B est compris entre 60 et 130 dB(B), ce niveau mesuré avec le réseau A étant supérieur à 60 dB(A), le niveau sonore exprimé en phones DIN sera égal à la lecture en dB(B).

Si le niveau sonore est un peu plus petit que 60 dB(A), mais un peu plus grand que 60 dB(B), le niveau sonore exprimé en phones DIN sera égal à

$$\text{dB(A)} + \text{dB(B)} - 60.$$

Mesure du niveau sonore de la Salle.

Lin db	55	55	55	56	60	56	57	56	58	60	60	60	≈ 57
"C" db	55	55	52,5	55	57	56	57	55	57	55	60	57	≈ 56
"B" db	43	45	45	50	45	45	45	45	50	47	45	45	≈ 46
"A" db	40	40	38	42	40	42	40	41	40	42	41	40	≈ 40

niveau sonore (A) entre 30 et 60 dB(A) et niveau sonore (B) inférieur à 60(B)
 NIVEAU SONORE EN PHONES DIN EST : 40

Mesure du Niveau Sonore de la Salle + Filtre

Lin	31,5K	16K	8K	4K	2K	1K	500	250	125	63	31,5	Gamme.
20 db	12 db	16 db	20 db	33 db	34 db	35 db	36 db	40 db	45 db	47 db	54 db	Mesure
/	28 db	24 db	20 db	16 db	12 db	8 db	4 db	0 db	-4 db	-8 db	-12 db	Atténuation
/	40 db	40 db	40 db	49 db	46 db	43 db	40 db	40 db	41 db	39 db	42 db	Resultats

sur Lin ou court-circuite les filtres d'où le filtre possède une atténuation de 20 db pour la position. (+60 db; -40) qui correspond à 8K.

- Signal délivré par le générateur 1022 : l'amplificateur 2604
 position: 400 mV ; -80db un signal de : 315 mV et $S_{dB} = -30db + 20db = -10db$

f	Reseaux A			Reseaux B			Reseaux C			"A" db	"B" db	"C" db
20 Hz	-50db	-50db	-48db	-23db	-18,3db	-22,2db	-5db	-3,4db	-5db	-50	-22,2	-5
40 Hz	-35db	-30db	-34db	-15db	-12,7db	-14,4db	-2,3db	-1,6db	-2,2db	-34	-14,4	-2,2
80 Hz	-23db	-21db	-22,9db	-8db	-7,5db	-8,3db	-0,6db	-0,5db	-0,8db	-23	-7,5	-0,6
160 Hz	-13,5db	-12,8db	-13,7db	-3,5db	-3,2db	-3,7db	0	0	-0,2db	-13,5	-3,5	0
310 Hz	-6,5db	-6,5db	-7db	-1db	-1db	-1,3db	+0,5db	0	0	-6,5	-1	0
650 Hz	-2db	-1,7db	-2db	0	0	-0,2db	+0,5db	+0,1db	0	-2	0	0
1K Hz	0	0	0	0	0	-0,2db	0	+0,1db	0	0	0	0
2K Hz	+1,3db	+1,5db	+1,1db	-0,2db	-0,1db	-0,3db	-0,2db	-0,1db	-0,3db	+1,3	-0,2	-0,2
4K Hz	+0,7db	+1db	+0,6db	-1,1db	-1db	-1,3db	-1,2db	-1,1db	-1,4db	+0,7	-1,1	-1,1
8K Hz	-1,8db	-2,3db	-2,1db	-4db	-3,9db	-4,2db	-4db	-3,9db	-4,2db	-2,1	-4	-4
12,5K	-5db	-4db	-5,3db	-7db	-7,5db	-7,5db	-7db	-6,5db	-7,6db	-5	-7,5	-7
20K Hz	-10,2db	-10,2db	-10,5db	-13db	-12,9	-13db	-13db	-12,9db	-13db	-10,2	-13	-13

tout les Resultats sont donnés avec une appréciation de
 de $\pm 2db$ en général. pour plus de précision Voir Annexe II



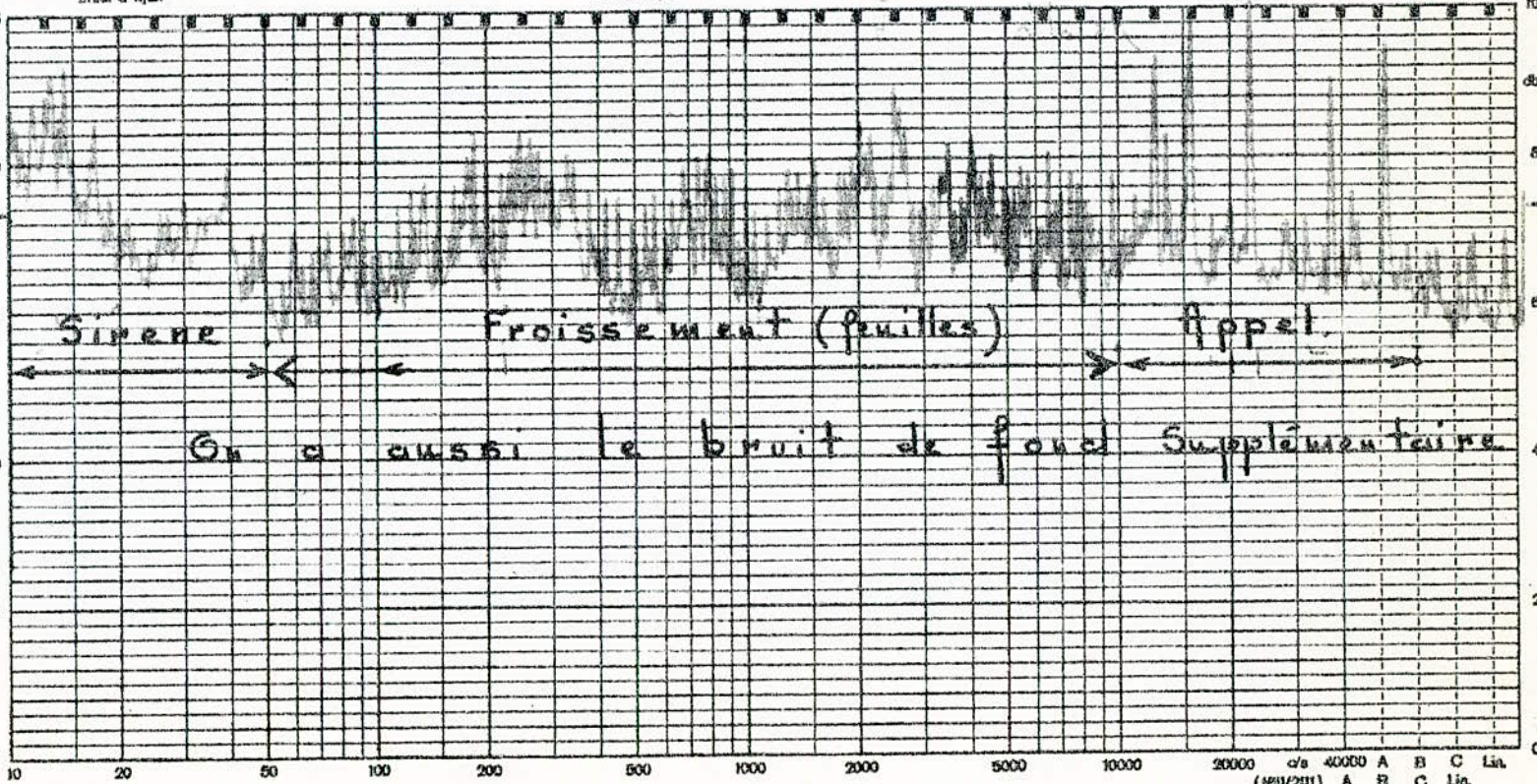
Measuring Object:

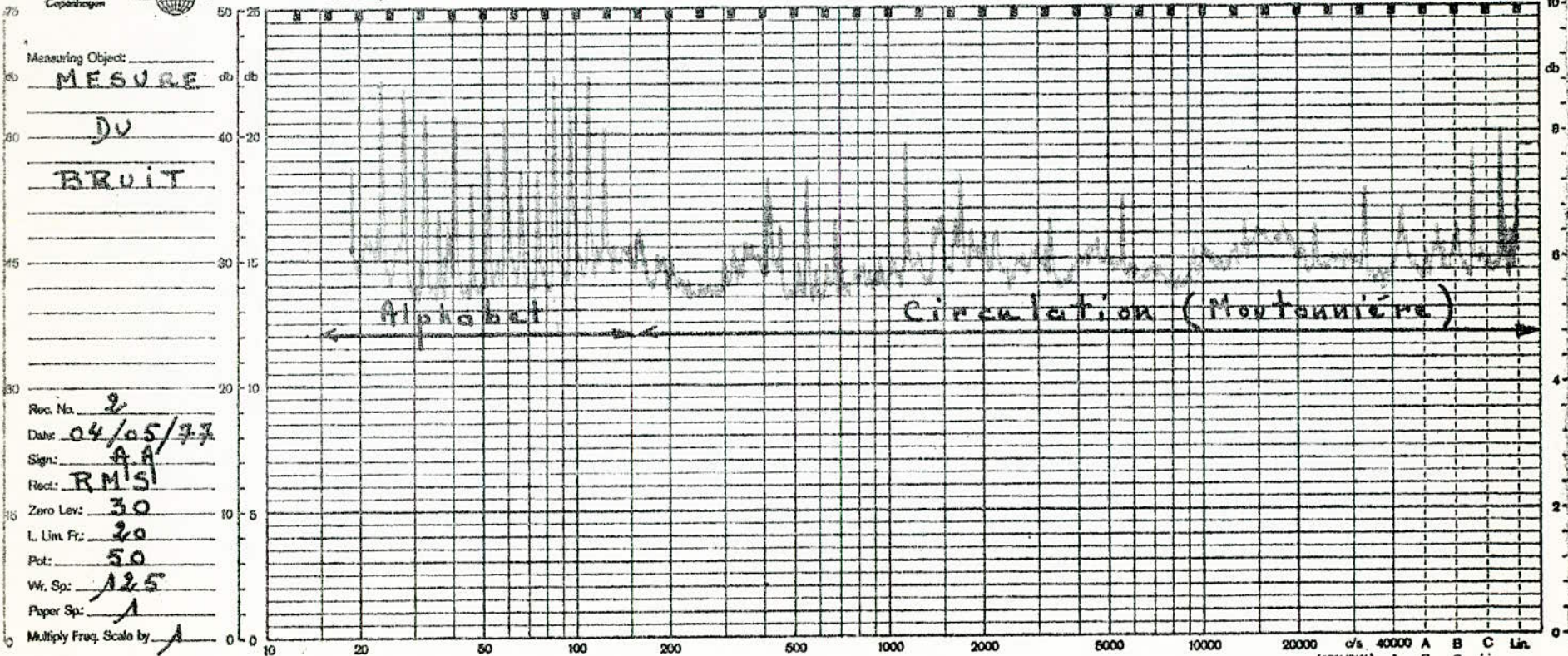
MESURE

DU

BRUIT

Rec. No: 1
 Date: 04/05/77
 Sign: A A
 Rect: RMS
 Zero Lev: 40
 L. Lim Fr: 20
 Pot: 50
 Wr. Sp: 125
 Paper Sp: 1
 Multiply Freq. Scale by: 1





Measuring Object:
MESURE
DV
BRUIT

Rec. No. **2**
Date: **04/05/77**
Sign: **AA**
Recd: **RMSI**
Zero Lev: **30**
L. Lim. Fr: **20**
Pot: **50**
Wr. Sp: **125**
Paper Sp: **1**
Multiply Freq. Scale by **1**

Brüel & Kjær
Copenhagen



Brüel & Kjær

Brüel & Kjær

Brüel & Kjær

Measuring Object:

MESURE

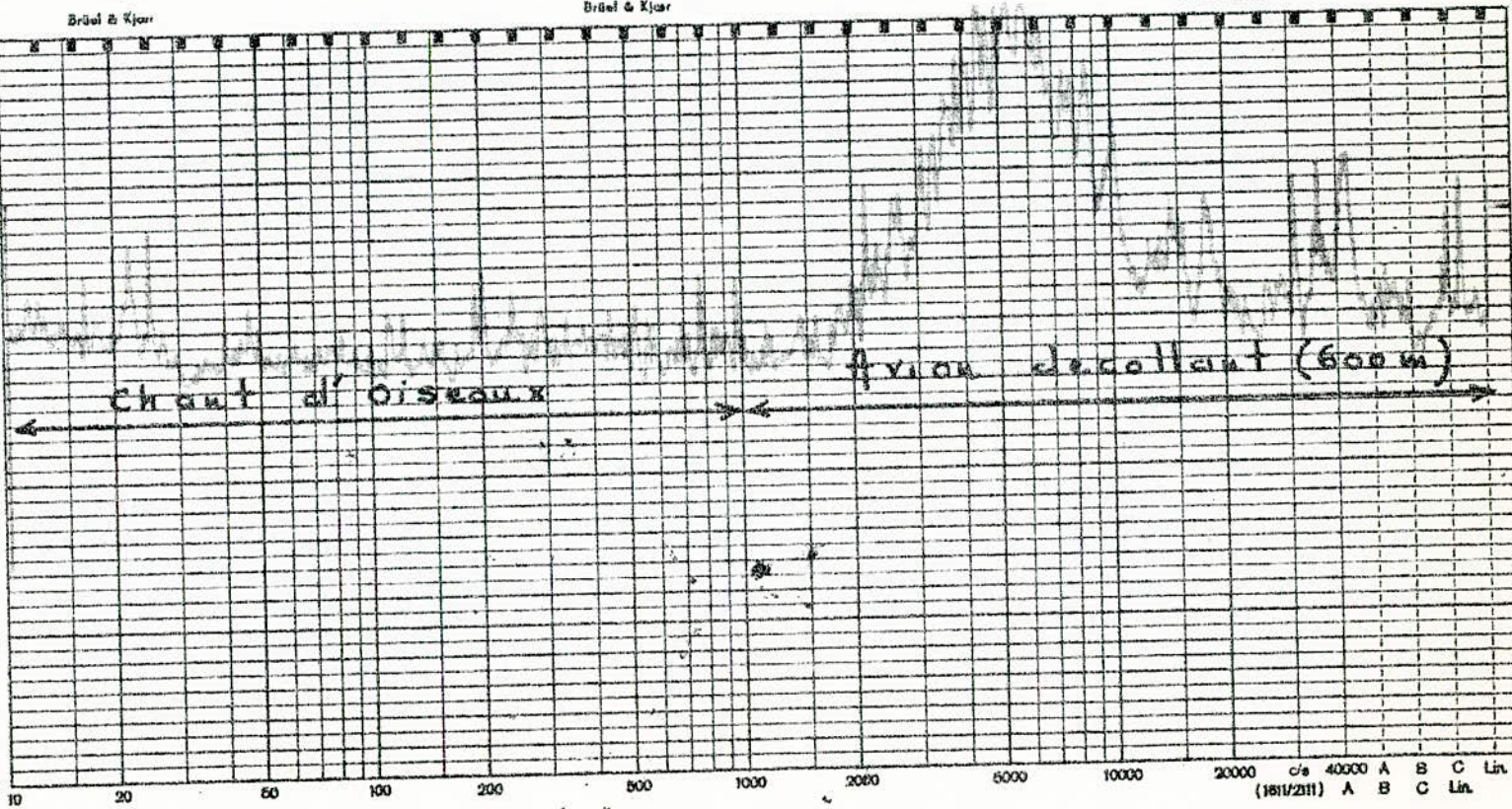
DU

BRUIT

75
60
45
30
15
0

50
40
30
20
10
0

10
8
6
4
2
0



Rec. No. 3
 Date: 04/05/77
 Sign: A. A.
 Recd: R. M. S.
 Zero Lev: 30
 L. Lin. Fr: 20
 Pot: 50
 Wt. Sp: 125
 Paper Sp: 1
 Multiply Freq. Scale by 1

CP 1128

20000 c/s 40000 A B C Lin.
(181/211) A B C Lin.

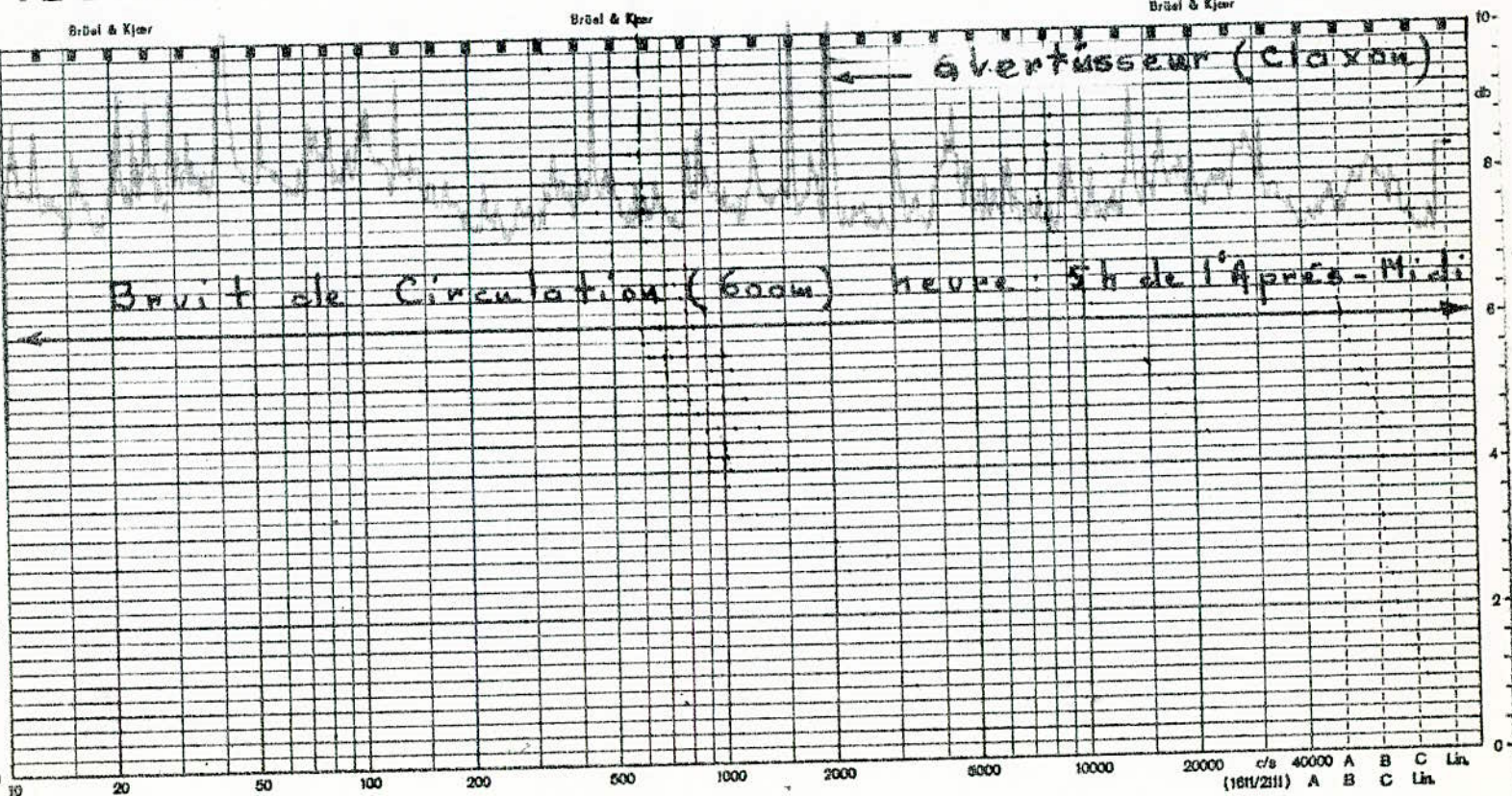


Measuring Object
MESURE

DU

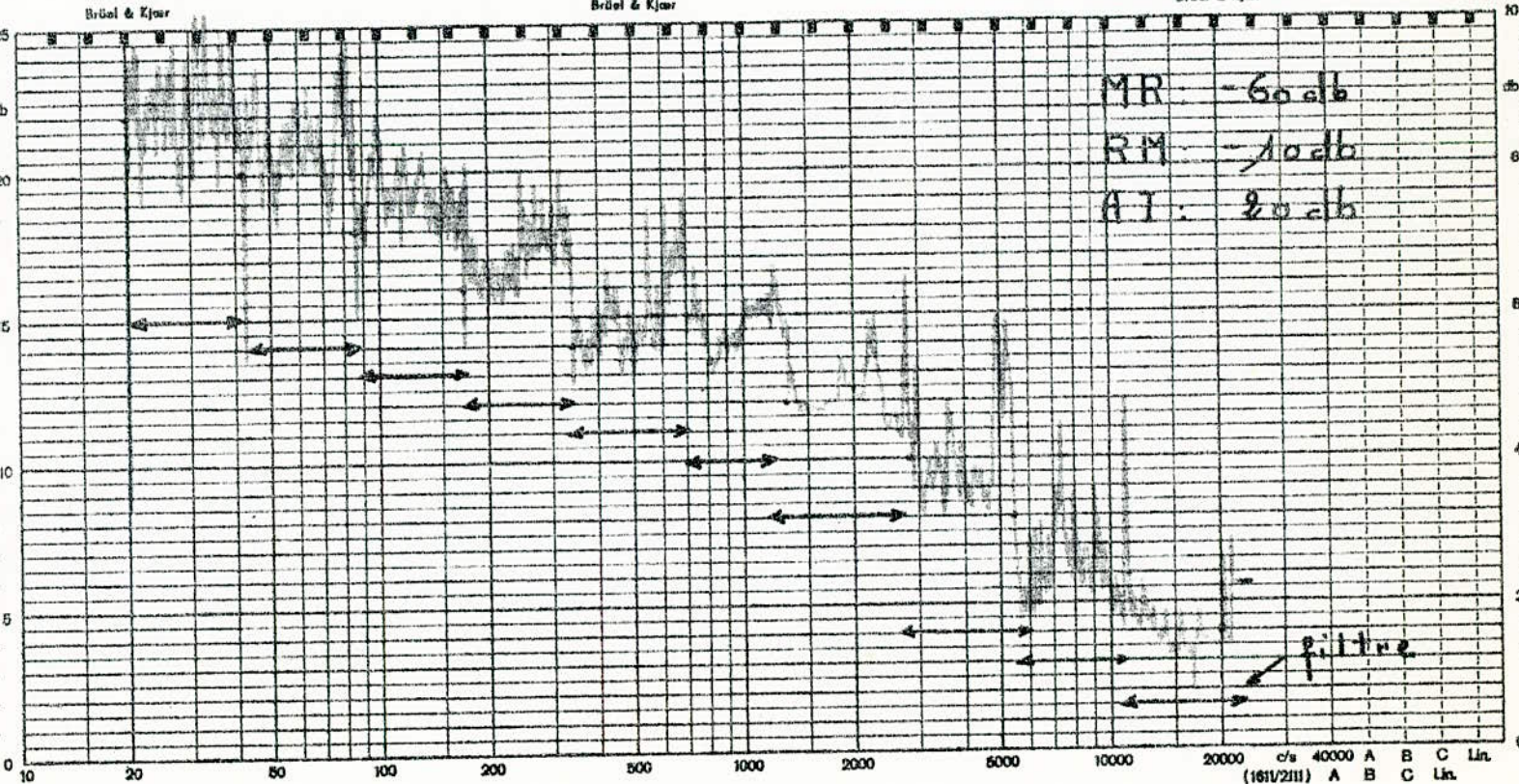
BRUIT

No. **4**
05/05/77
A. A
R. M. S
Lev: **40**
m. Fr: **20**
50
Sp: **125**
per Sp: **1**
mply Freq. Scale by **1**





Measuring Object: MESURE
DV
NIVEAU
SONORE
(SALLE)
+
FILTRE
 Rec. No. 1
 Date: 06/05/77
 Sign: A A
 Rect: R. M. S
 Zero Lev: _____
 L. Lim. Fr: 20
 Pol: 50
 Wr. Sp: 125
 Paper Sp: 1
 Multiply Freq. Scale by 1



Brüel & Kjær
Copenhagen



Brüel & Kjær

Brüel & Kjær

Brüel & Kjær

Measuring Object:

MESURE

DU

NIVEAU

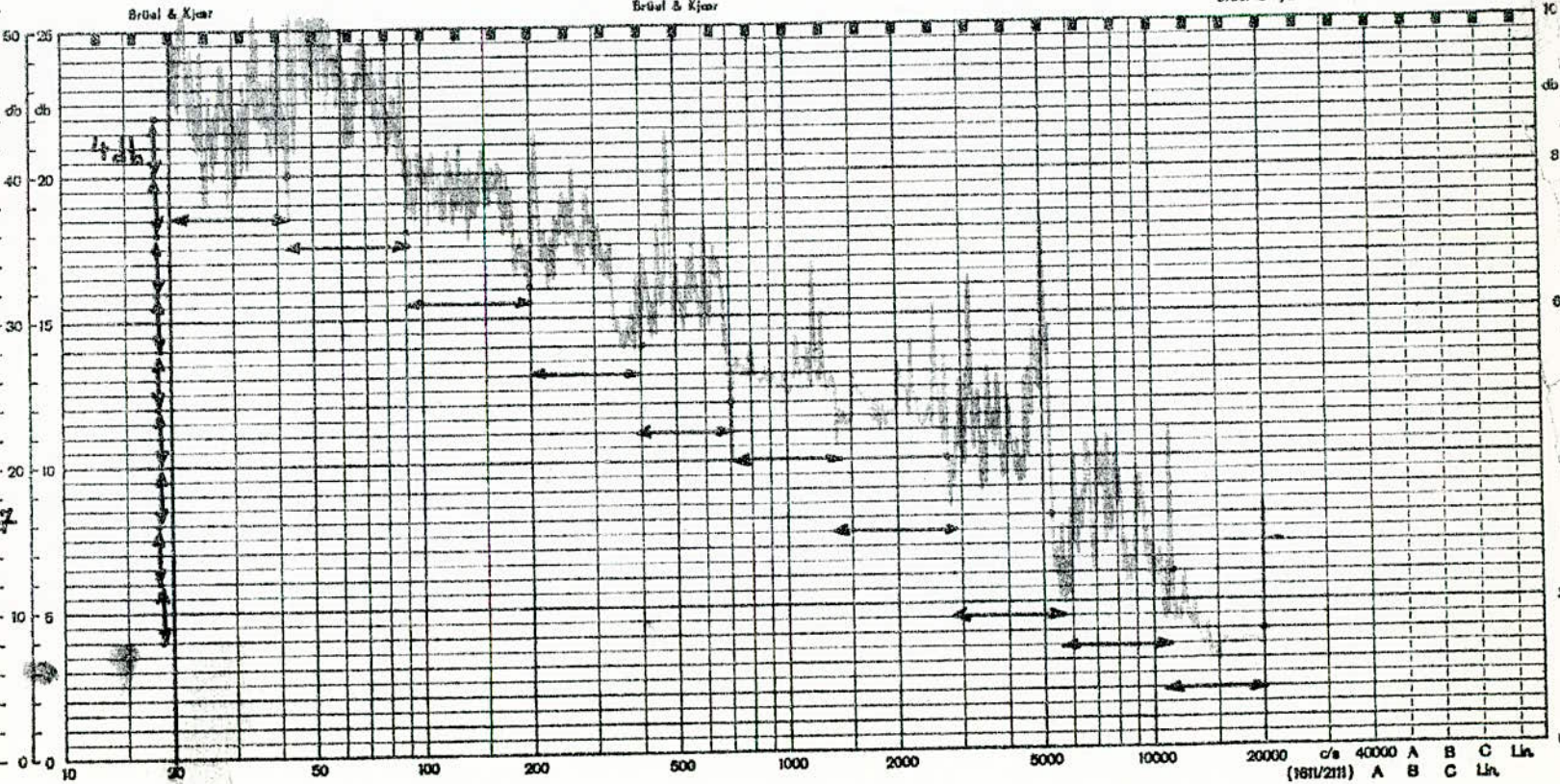
SONORE

(SALLE)

+

FILTRE

Rec. No. 2
Date: 06/05/77
Sign: AA
Rect: R.M.S.
Zero Lev: 10
L. Lim. Fr: 20
Pot: 50
Wr. Sp: 125
Paper Sp: 1
Multiply Freq. Scale by 1



QP 1123

-Conclusion de la Manipulation II :

1^{ère} Conclusion : On constate que les courbes de réponse des filtres "A" "B" "C" sont valables et conformes aux normes données en annexe avec une erreur comprise dans les tolérances.

2^{ème} Conclusion : le niveau sonore de la salle sera de 40 Phones d'après les normes allemandes Din 5045 d'après la conformité des filtres "A" "B" "C" et une atténuation du câble équivalente à db. on exprimera le resultat par 40 ± 2 Phones.

3^{ème} Conclusion: A l'aide du filtre, on verra surtout que de bruit est prédominant pour les basses fréquences (graves) Cette constatation se fera à partir du spectre en fréquence donné par l'enregistreur.

Applications:

Mesure du niveau sonore relatif à chaque fréquence. Etude acoustique d'une salle; quels sont les bruits principaux (niveau sonore, fréquence) d'où on cherchera à éliminer les plus forts et les plus gênants. on fera une maquette des essais d'isolation phonique (parois absorbants les fréquences les plus gênantes) d'où on revient au 1^{ère} travaux pratique l'absorption.

Au terme d'un certain nombre d'essais sur les parois (constitution, épaisseur, matériaux, coefficient d'absorption etc...) On pourra proposer une isolation phonique de toute la salle.

On vérifiera après cette isolation, si cet aménagement a été efficace au moyen de la même manipulation n° 2 .

3ème - P A R T I E -

Manipulation n° 3.

Étalonnage d'un microphone de précision par pistonphone et excitateur électrostatique.

I. Objet de la manipulation:

On se propose:

- 1°). de déterminer avec précision la sensibilité, à une fréquence donnée, et le facteur K (voir manipulation n° 2) d'un microphone condensateur au moyen d'un pistonphone,
- 2°). de relever la courbe de réponse en pression de ce même microphone au moyen d'un excitateur électrostatique et d'en déduire, par une construction graphique, la caractéristique en champ libre du microphone étudié.

II. Rappel de quelques définitions:

(Références: notices Brüel & Kjaer 4142, 4131/32)

On trouvera ci-dessous quelques définitions extraites de la norme américaine A.S.A Z 24.4.-1949. Ces définitions permettront aux élèves de mieux comprendre les indications portées sur les fiches d'étalonnage des microphones à essayer.

Tension à circuit ouvert:

La valeur efficace de la tension à circuit ouvert d'un microphone à une fréquence donnée est la tension qui apparaît à ses bornes lorsque le microphone est chargé par une impédance (électrique) infinie.

Réponse en pression:

La réponse en pression d'un microphone à une fréquence donnée est égale à 20 fois le logarithme base 10 du rapport de la tension efficace à circuit ouvert à la pression sonore efficace lorsque la pression sonore est appliquée uniformément sur le diaphragme.

Le rapport de la tension à circuit ouvert à la pression sonore qui lui donne naissance est en général un nombre complexe. La réponse en pression est 20 fois le logarithme base 10 de la valeur absolue de ce rapport complexe.

Unités C.G.S: db réf. $1,00 \text{ V}/(\text{dyne}/\text{cm}^2) = 1,00 \text{ V}/\text{microbar}$.

Champ libre:

Un champ libre est un champ (d'onde ou de potentiel) qui existe dans un milieu homogène, isotrope et illimité (dépourvu d'obstacles). En pratique, c'est un champ dans lequel l'effet des limites est négligeable dans la région où l'on opère.

Remarque: la pression effective qui s'exerce sur un objet (par ex. sur un transducteur électro-acoustique) placé dans un champ, libre par ailleurs, diffère de la pression qui existe au même point, l'objet étant retiré, à moins que l'impédance acoustique de l'objet soit adaptée à l'impédance acoustique du milieu.

Réponse de tension en champ libre:

La réponse de tension en champ libre d'un transducteur électro-acoustique utilisé pour la réception du son est le rapport de la tension apparaissant entre les bornes de sortie de ce transducteur lorsque ces bornes sont en circuit ouvert, à la pression sonore en champ libre qui existe à l'emplacement du transducteur avant l'introduction de celui-ci dans le champ sonore.

La réponse de tension en champ libre est habituellement exprimée en db, soit 20 fois le logarithme base 10 du quotient du rapport observé divisé par le rapport de référence (en principe 1V/microbar).

La réponse en champ libre est définie pour une onde sonore plane et progressive dont la direction de propagation a une direction déterminée par rapport à l'axe principal du transducteur.

Unités: C.G.S: db réf. 1,00 V/(dyne/cm²).

Impédance acoustique d'un microphone:

L'impédance acoustique d'un microphone à une fréquence donnée est le rapport complexe de la pression sonore appliquée uniformément sur la surface de l'élément sensible à la pression (diaphragme) à la vitesse volumique.

Unités: Ohm acoustique (dyne.s/cm⁵).

Volume équivalent d'un microphone:

Lorsqu'on a affaire à des mesures en volume clos (mesures avec coupleurs), on est amené à exprimer l'impédance d'entrée acoustique d'un microphone du type décrit, sous forme d'impédance acoustique d'un volume équivalent V_e de gaz enfermé dans une cavité rigide, en utilisant la relation suivante

$$V_e = \frac{\gamma P_a}{j\omega Z_a}$$

avec

- γ = rapport des chaleurs spécifiques du gaz
- P_a = pression ambiante en dyne/cm².
- Z_a = impédance acoustique en dyne.s/cm⁵
- ω = fréquence angulaire ou pulsation.

Ceci revient à admettre que l'impédance acoustique du microphone est capacitive. En effet, on sait que, si l'on utilise une analogie dite "d'impédance", l'impédance acoustique d'un volume V_e s'exprime par la relation:

avec

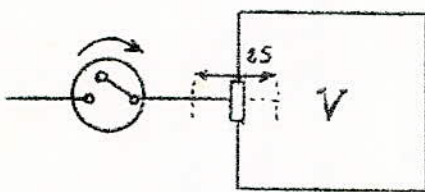
$$p = j\omega C_a u, \quad u \text{ étant la vitesse vibratoire,}$$

$$C_a = \frac{V_e}{\gamma P_a} \quad (P_a = \text{pression atmosphérique ambiante}).$$

III. Principe du pistonphone Brüel & Kjaer:

Un pistonphone est, pour l'essentiel, une cavité à volume variable, la variation de volume étant une fonction sinusoïdale du temps. La formule fondamentale du pistonphone peut s'établir de la façon suivante.

Considérons un volume fermé par un petit piston de surface A .



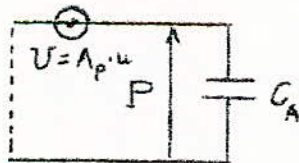
Supposons que ce piston soit animé d'un mouvement sinusoïdal d'amplitude $s = S \sin \omega t$

La vitesse u du piston est donc égale à:

$$u = S\omega \cos \omega t$$

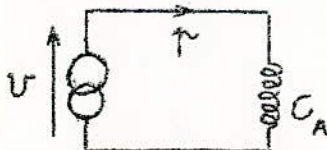
La cavité acoustique est donc attaquée par un générateur dit "à vitesse constante" (ou, plus précisément, à vitesse de valeur efficace constante).

Si l'on adopte une analogie d'impédance, le schéma équivalent de ce système est le suivant:



$$P = \frac{U}{C_A \omega}$$

et pour une analogie de "mobilité":



$$U = C_A \omega P$$

Quel que soit le type d'analogie adopté, on a:

$$P_{\text{eff}} = \frac{A p_{\text{eff}}}{C_A \omega} \quad \text{avec} \quad C_A = \frac{V}{\gamma P_0}$$

par conséquent

$$P_{\text{eff}} = \gamma P_0 \cdot \frac{A_p \frac{S\omega}{\sqrt{2}}}{V\omega} = \gamma P_0 \cdot \frac{A_p S}{V\sqrt{2}}$$

Si l'on utilise deux petits pistons au lieu d'un, la formule devient évidemment

$$P_{\text{eff}} = \gamma P_0 \cdot \frac{2A_p S}{V\sqrt{2}}$$

car tout se passe comme si l'on avait un piston unique de surface $2A_p$. Le niveau de pression sonore produit s'exprime donc en dB par la relation

$$S.P.L = 20 \log_{10} \frac{P}{P_t}$$

avec $P_t = 2 \cdot 10^{-4}$ microbar = 0,0002 dyne/cm².

Remarques:

Dans tout ce qui précède, il faut supposer que

1°). $A_p \cdot S \ll V$

2°). la compression est adiabatique.

Ces conditions sont réalisées pour le pistonphone Brüel & Kjaer 4220.

IV. Principe de l'excitateur électrostatique:

Aux fréquences élevées, il n'est plus possible d'étalonner les microphones condensateurs en pression au moyen d'un pistonphone. En effet, les dimensions de la cavité de couplage ne sont plus négligeables vis-à-vis de la longueur d'onde du son produit. On utilise donc un excitateur électrostatique pour relever la réponse en fréquence des microphones sur la gamme complète des fréquences "usuelles" (20 Hz - 20 kHz).

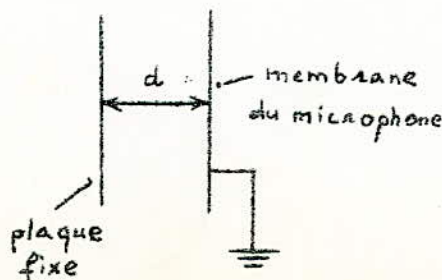
Un excitateur électrostatique est constitué essentiellement par une plaque métallique rigide placée à proximité de la membrane du microphone.

On applique entre la membrane mobile et la plaque fixe un champ sinusoïdal alternatif de pulsation

On a ainsi un condensateur entre les armatures duquel règne un champ alternatif \mathcal{E} .

La pression électrostatique exercée sur la membrane mobile est donnée par la relation classique

$$P = \frac{\sigma^2}{2\epsilon_0}$$



Si u est la tension entre plaque et diaphragme, et si d est la distance qui sépare ces armatures, on a:

$$\mathcal{E} = \frac{u}{d} \quad \text{et} \quad q = \sigma S = \epsilon_0 S \frac{u}{d}$$

q étant la charge répartie sur le diaphragme et S la surface de ce diaphragme.

Alors:
$$\sigma = \epsilon_0 \frac{u}{d}, \quad P = \frac{\epsilon_0^2 \frac{u^2}{d^2}}{2 \epsilon_0 d^2} = \epsilon_0 \frac{u^2}{2d^2}$$

avec
$$\epsilon_0 = 8,855 \cdot 10^{-12} \text{ F/m.}$$

Premier cas: $u = e_1 \sin \omega t$

La relation précédente devient:
$$P = \epsilon_0 \frac{e_1^2}{2d^2} \sin^2 \omega t = \epsilon_0 \frac{e_1^2}{4d^2} (1 - \cos 2\omega t)$$

La pression sonore est donc produite à une fréquence double de celle de la tension alternative appliquée, et cette pression est produite sans distorsion.

La valeur maximale de cette pression est égale à

$$P_{\max} = \epsilon_0 \frac{e_1^2}{2\sqrt{2}d^2} = \epsilon_0 \frac{e^2}{\sqrt{2}d^2}$$

e étant la valeur efficace de u .

Deuxième cas: $u = E_0 + e_1 \sin \omega t$

Avec l'excitateur électrostatique Brüel & Kjaer type UA 0023 la pression sonore maximale que l'on peut obtenir (en valeur efficace et avec une tension alternative de 120 V) est de l'ordre de 1 à 4 microbars (74 à 86 dB SL). Lorsque l'on travaille dans un milieu relativement bruyant ceci peut être un inconvénient. Pour cette raison, on préfère souvent superposer à la tension alternative une tension continue E_0 élevée (par exemple $E_0 = 800 \text{ V}$).

Dans ces conditions:

$$u = E_0 + e_1 \sin \omega t$$

et il en résulte une pression

$$p + P_0 = 8,855 \cdot 10^{-11} \frac{(E_0 + e_1 \sin \omega t)^2}{2d^2} \text{ microbar}$$

soit
$$p + P_0 = 8,855 \cdot 10^{-11} \left(\frac{E_0^2 + \frac{e_1^2}{2}}{2d^2} + \frac{E_0 e_1}{d^2} \sin \omega t - \frac{e_1^2}{4d^2} \cos 2\omega t \right)$$

La pression totale est donc égale à la somme d'une pression constante

$$P_0 = 8,855 \cdot 10^{-11} \frac{E_0^2 + \frac{e_1^2}{2}}{2d^2}$$

et d'une pression alternative

$$p = 8,855 \cdot 10^{-11} \left(\frac{E_0 e_1}{d^2} \sin \omega t - \frac{e_1^2}{4d^2} \cos 2\omega t \right)$$

On constate, pour cette pression, la présence d'un harmonique 2. La distortion introduite par cet harmonique est égale à:

$$d^2\text{ème} = \frac{\frac{e_1^2}{4d^2}}{\frac{E_0 e_1}{d^2}} = \frac{e_1}{4E_0}$$

En pratique: $e_1 = 30\sqrt{2} \div 40\sqrt{2}$ V, $E_0 = 800$ V
d'où

$$d^2\text{ème} = 1,3 \div 1,8 \% < 2 \%$$

L'amplitude maximale de la pression alternative p est égale à:

$$p_{\max} = 8,85 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{E_0 e_1}{d^2} \text{ microbar}$$

en exprimant les distances d en cm (il suffit de remplacer d par $0,01d$ dans les formules obtenues précédemment).

Et la pression efficace a pour valeur:

$$p_{\text{eff}} = \frac{p_{\max}}{\sqrt{2}} = 8,85 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{E_0 e}{d^2}$$

e étant la valeur efficace de la tension $u = e_1 \sin \omega t$.

En pratique, avec l'excitateur Brüel & Kjaer, en prenant $e = 30 \div 40$ V et $E_0 = 800$ V, on obtient une pression sonore équivalente de l'ordre de $5 \div 20$ microbars.

En résumé, les formules fondamentales utilisées sont les suivantes:

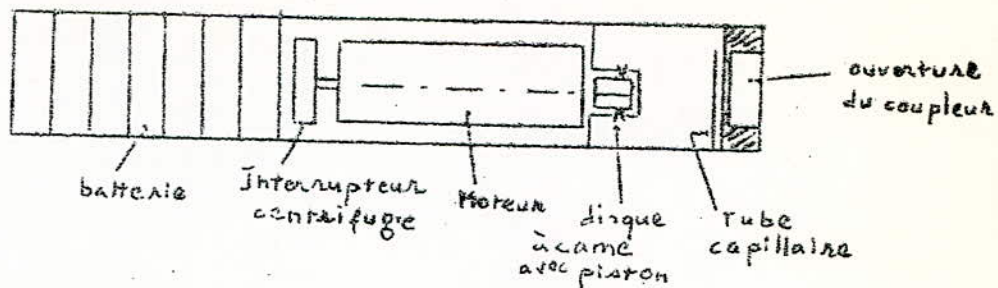
avec une alimentation continue
$$p_{\text{eff}} = 8,85 \cdot \frac{E_0 e}{d^2} \cdot 10^{-7} \text{ microbar}$$

sans alimentation continue
$$p_{\text{eff}} = 8,85 \cdot \frac{e^2}{d^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 10^{-7} \text{ microbar}$$

V. Matériel utilisé:

51. Le pistonphone Brüel & Kjaer type 4220:

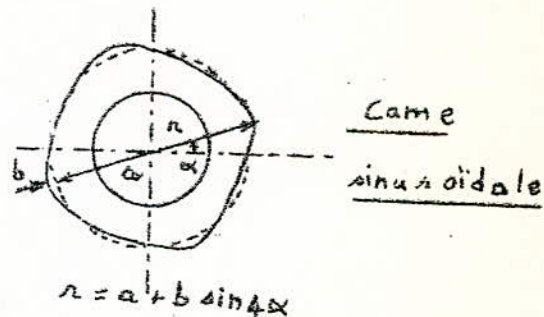
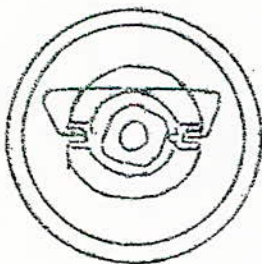
Cet appareil se présente sous forme d'un cylindre de faibles dimensions et il est alimenté par des batteries. On peut le représenter très schématiquement par le croquis ci-dessous.



Pour plus de détails, on pourra se reporter à la notice 4220 pages 6 et suivantes.

Chaque pistonphone est étalonné individuellement et la valeur exacte de l'étalonnage, qui peut s'écarter de quelques dB de la valeur nominale 124 dB, est indiquée sur la fiche d'étalonnage fournie par le constructeur.

L'étalonnage est donné à pression atmosphérique normale (760 mm de Hg). L'erreur maximale d'étalonnage est inférieure à $\pm 0,2$ dB. La correction à effectuer pour tenir compte des variations de pression atmosphérique se lit directement sur le baromètre fourni avec le pistonphone. Dans la gamme habituelle ($0^{\circ} \text{C} - 60^{\circ} \text{C}$) l'influence de la température est pratiquement négligeable sur l'étalonnage du microphone. Le mécanisme de fonctionnement du pistonphone Brüel & Kjaer est représenté par les deux figures suivantes.



Les deux pistons sont entraînés symétriquement au moyen d'un disque à came monté sur l'arbre d'un petit moteur électrique. La came, qui est en acier trempé spécial, est usinée avec une très grande précision. Le profil de cette came a pour équation $r = a + b \sin 4x$. Au cours de sa rotation, la came communique au piston un mouvement sinusoïdal de fréquence égale à 4 fois la vitesse de rotation du moteur. La variation de pression produite est donnée par la formule établie au paragraphe III.

$$P = \gamma P_0 \frac{2A_p S}{V \sqrt{2}} \text{ microbar}$$

5.2. Précision du pistonphone:

La détermination précise de la pression P dépend évidemment de la précision avec laquelle on peut mesurer chacun des facteurs contenus dans la formule précédente. La course S du piston, qui est difficile à mesurer dans le cas d'un pistonphone à entraînement électromagnétique est ici simplement égale au quart de la différence entre les diamètres maximum et minimum de la came. La mesure de cette différence, relativement petite il est vrai, ne présente pas de problèmes si l'on utilise un micromètre de précision. En outre, comme les pistons sont placés symétriquement par rapport à la came, tout écart mécanique dû au montage ou à une oscillation du moteur est compensé dans le mouvement total du piston, et n'a pas d'influence sur la pression sonore produite.

La surface frontale A du piston et le volume V de la cavité sont également faciles à mesurer avec précision, et comme le diamètre du piston est grand par rapport à sa course, l'influence de l'espace entre les pistons et les parois est négligeable (l'étanchéité des pistons est satisfaisante, sans utiliser de lubrifiants, jusqu'à environ 20 Hz). Enfin, les erreurs qui affectent la détermination de la pression ambiante P_0 restent très inférieures aux tolérances requises, car 10 degrés de l'échelle du baromètre correspondent à une déviation de 0,04 dB.

Ces caractéristiques permettent de calculer la pression sonore produite par le pistonphone Type 4220 à la fréquence normalisée 250 Hz avec une erreur inférieure à $\pm 0,2$ dB ($\pm 2\%$).

5.3. Distorsion non linéaire due aux pistons:

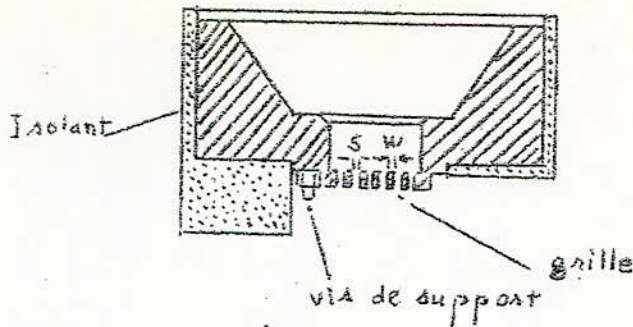
Dans le pistonphone 4220, le système d'entraînement des pistons est conçu de manière à n'autoriser qu'un très faible taux de distorsion non linéaire. Cette distorsion n'est pas due aux imperfections d'usinage de la came, qui peut être considérée comme une came de forme à peu près par faitement sinusoïdale. Elle est due au fait que les extrémités pointues des pistons qui s'appuient sur la came glissent sur celle-ci. Si l'on ne prend aucune précaution particulière, le mouvement des pistons peut être ainsi légèrement perturbé, ce qui entraîne la distorsion.

Les pistons sont réalisés en matériau spécial synthétique, présentant avec l'acier un très faible coefficient de frottement. La came et les pistons sont lubrifiés avec une huile de très bonne qualité. D'autre part, la tension des ressorts de rappel est soigneusement réglée de manière à maintenir les pointes des pistons en contact avec la came sans qu'il en résulte une pression exagérée. De cette façon, le taux de distorsion ne dépasse pas 3% à 250 Hz.

Au cours de la manipulation on relèvera le spectre de fréquence du signal produit par le pistonphone.

5.4. L'excitateur électrostatique Brüel et Kjaer:

Cet excitateur est représenté schématiquement par la figure suivante.



La plaque de l'excitateur Brüel & Kjaer UA 0023 n'est pas une plaque pleine comme dans l'excitateur électrostatique étudié plus haut, mais une grille d'une planéité parfaite maintenue à une distance faible et bien déterminée du diaphragme du microphone. Cette grille est destinée à simuler des conditions de fonctionnement en champ libre puisque les ondes sonores peuvent accéder librement à une zone dégagée. Des calculs, assez laborieux d'ailleurs, permettent de montrer que la distance d entre grille et diaphragme doit être remplacée dans les formules établies précédemment par une distance "effective" $d_1 > d$.

5.5. Précision de l'excitateur électrostatique UA 0023:

La précision sur la pression sonore p dépend essentiellement de la précision avec laquelle on détermine la distance d_1 . Dans la plupart des cas, il semble que cette précision puisse être considérée comme meilleure que 5%.

VI. Mise en oeuvre:

6.1. Mise en oeuvre du pistonphone 4220:

Faire chauffer le dispositif de mesure à contrôler pendant quelques minutes; l'appareillage doit être prêt à fonctionner dans la gamme 120 - 130 dB avec une réponse en fréquence "linéaire" (plate de 20 Hz à 20 000 Hz au moins).

Introduire la cartouche du microphone de l'appareil à contrôler dans l'ouverture du coupleur du pistonphone. Celui-ci doit être tenu dans une main, dans une position quelconque (verticalement par exemple). Mettre le pistonphone en marche en poussant le commutateur glissant, et contrôler les batteries en faisant glisser ce commutateur en avant et en arrière entre les positions "Measure" et "Check". Si les batteries sont en bon état, on doit observer une variation caractéristique de la fréquence du signal sonore.

Le commutateur du pistonphone étant dans la position "Measure", régler avec la main restée libre, la sensibilité du dispositif de mesure, jusqu'à ce que l'indication du galvanomètre coïncide avec le niveau

de pression sonore (niveau de pression sonore efficace) produit par le pistonphone.
Arrêtez le pistonphone dès que l'étalonnage a été effectué afin de ménager les batteries.

Pression ambiante et corrections de volume.

Le niveau de pression sonore produit par le pistonphone est égal à la valeur d'étalonnage lue sur la fiche d'étalonnage fournie avec l'appareil. Toutefois, si la pression ambiante n'est pas égale à la pression atmosphérique normale (760 mm Hg = 1,013 bar), cette valeur doit être corrigée. Il en va de même si le volume total de la cavité de couplage, qui inclue le volume équivalent du microphone, n'est pas le même que celui du cas de référence, dans lequel on introduit un microphone condensateur B & K muni de sa grille de protection. La correction de pression ambiante est fournie par une lecture directe sur le baromètre spécial fourni avec le pistonphone. Conformément à la formule du pistonphone, la correction de volume est égale à

$$20 \log_{10} \frac{V'}{V}$$

V' étant le volume total de la cavité du coupleur. Cette correction doit être ajoutée à la valeur d'étalonnage correspondant au volume normal $V = 19,6 \text{ cm}^3$.

Exemple:

Pistonphone produisant une pression sonore étalon égale à 123,9 dB.

Correction de pression lue sur le baromètre -0,2 dB.

Volume total V' obtenu avec un coupleur spécial: 24,1 cm^3 .

Le niveau de pression sonore produit est égal à:

$$\text{S.P.L.} = 123,9 - 0,2 + 20 \log_{10} \frac{19,6}{24,1} = 123,9 - 0,2 - 1,8 = 121,9$$

Remarque importante: Les microphones B & K doivent être utilisés avec leurs grilles de protection si l'on ne veut pas faire de correction de volume.

6.2. Mise en oeuvre de l'excitateur électrostatique UA 0023:

Faire chauffer le dispositif de mesure à contrôler pendant quelques minutes. Le microphone 4131 (ou 4132) et la cathode suiveuse 2613 seront placés verticalement sur le trépied UAC049.

La grille de protection du microphone doit être retirée avec précaution. Si nécessaire, ôter la poussière du diaphragme avec un pinceau très fin et en accordant une attention extrême à la bonne exécution de cette opération.

Placer l'excitateur sur la cartouche du microphone. La même attention doit présider à l'exécution de cette opération délicate. Auparavant on aura inséré dans le trou ménagé sur l'excitateur la fiche spéciale qui accompagne cet appareil. L'autre extrémité de cette fiche sera relié à l'une des bornes de charge du générateur 1022.

Au laboratoire de l'Ecole on n'utilise qu'une source purement alternative pour alimenter le montage. On reliera donc la borne de masse du générateur 1022 au bâti de la cartouche de microphone ou, ce qui

revient au même, à la masse de l'amplificateur qui suit cette cartouche.

La valeur efficace de la tension alternative fournie par le générateur 1022 sera de l'ordre de 120 V. Si l'on fait varier la fréquence du signal d'attaque entre 20 Hz et 20 000 Hz on peut ainsi relever point par point la réponse en pression de l'ensemble (microphone + cathode suivieuse) entre 20 Hz et 20 000 Hz.

VII. Travail à effectuer:

1°). Déterminer les sensibilités à 250 Hz des différentes cartouches de microphone disponibles au laboratoire au moyen du pistonphone. On fera toutes les corrections nécessaires et on indiquera la précision du résultat. Relever la pression atmosphérique, la température de la salle et le degré hygrométrique de l'air. On indiquera également le numéro de série du microphone.

2°). Relever, au moyen du jeu de filtres d'octave 1613, le spectre de fréquence du signal délivré par le pistonphone. Conclure.

3°). Relever, au moyen de l'excitateur électrostatique UA 0023, et en utilisant le générateur 1022 et l'amplificateur 2604, la réponse en pression de l'une de ces cartouches de microphones. En déduire, par une construction graphique, en utilisant la courbe expérimentale fournie par l'assistant, la caractéristique de réponse en champ libre de cette même cartouche. Les explications nécessaires concernant la courbe fournie seront données au cours de la manipulation.

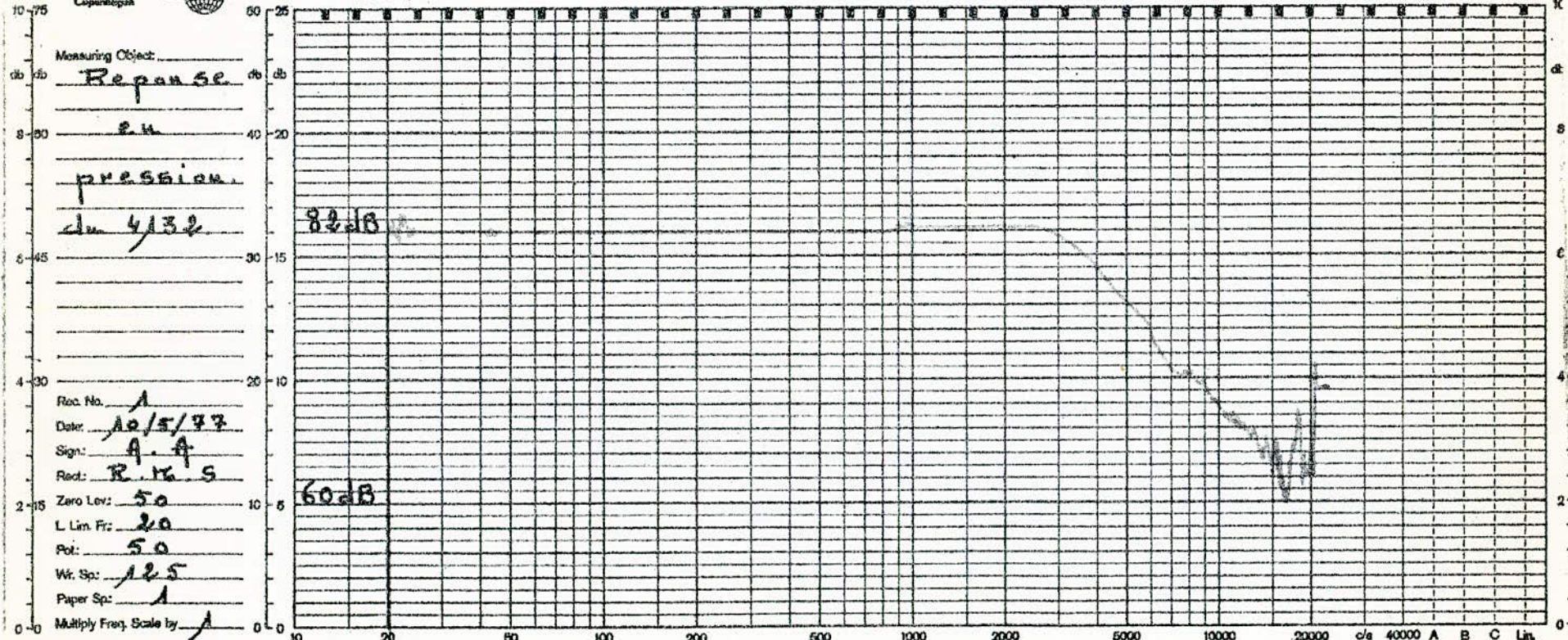
Brüel & Kjær
Copenhagen



Brüel & Kjær

Brüel & Kjær

Brüel & Kjær



Measuring Object:
Response
Pressure
in 4132

Rec. No. 1
Date: 10/5/77
Sign: A. A
Recd: R. H. S
Zero Lev: 50
L. Lin. Fr: 20
Pol: 50
Wt. Sp: 125
Paper Sp: 1
Multiply Freq. Scale by 1

CP 1123

c/s 40000 A B C Lin.
(1011/2111) A B C Lin.

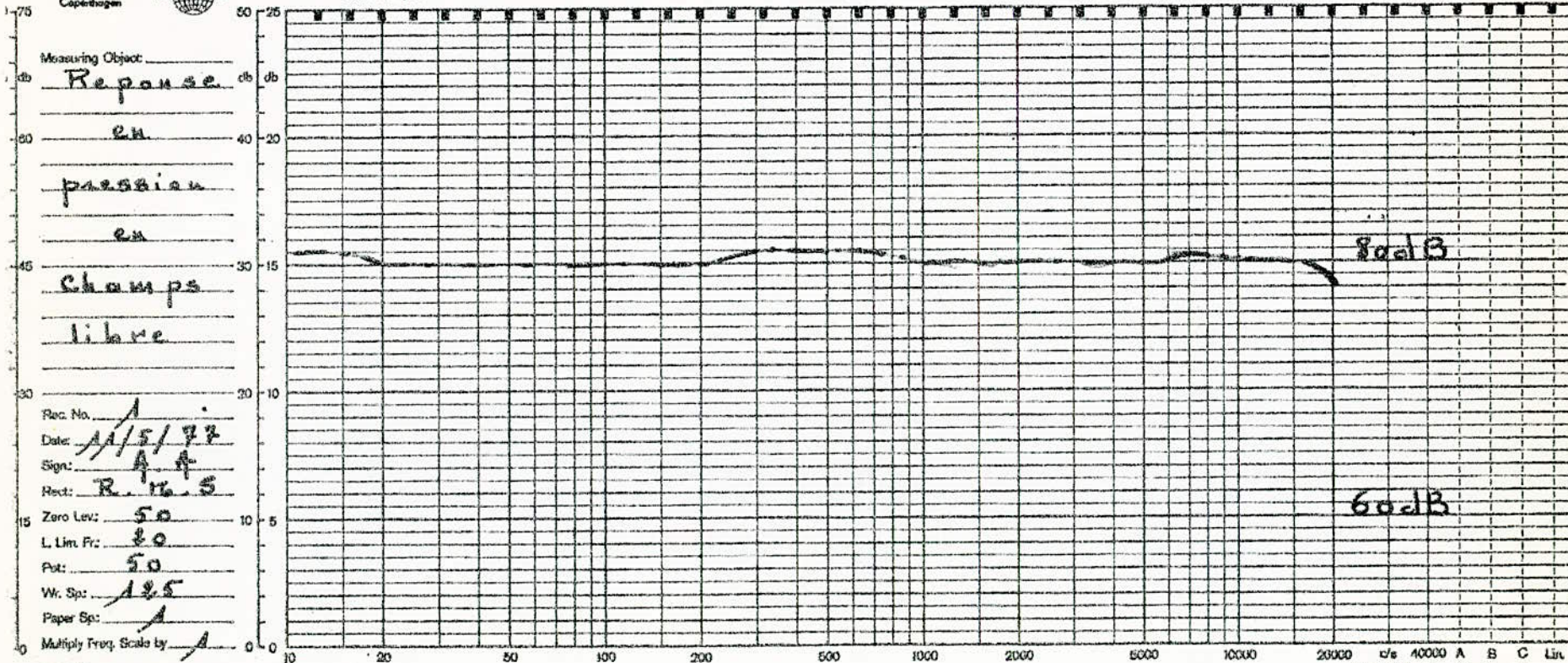
Brüel & Kjær
Copenhagen



Brüel & Kjær

Brüel & Kjær

Brüel & Kjær



REPONSE en PRESSION de la CARTOUCHE 4132

FREQUENCE (Hertz)	20	40	100	200	400	800	1,6K	2 K	3 K	4 K	5 K	7 K	10K	15K	20K
PRESSION : S.L.P. (dB)	81,5	81,2	81,2	81,2	81,2	81,2	81,7	81,7	81	78,2	75,5	70	66,5	62	58
PRESSION (micro-bar)	2,25	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,25	2,25	2,22	1,4	1,35	0,63	0,5	0,26	0,16

CONCLUSION :

On constate que le bruit influe vers les fréquences élevées (>4K) et qu'il faudra pour éliminer cette influence superposer une tension continu (800 V) à la tension alternatif (120 V). En comparant les caractéristiques en champs libre et mesurée, on voit que l'erreur est de : 2 à 3 db pour $20 < f < 4$ Khz et de 3 à 10 db pour $f > 4$ Khz ; due surtout à la reflexion et au bruit de fond. En conclusion ; les mesures précises se font de 20 Hz à 4 Khz.

4ème - P A R T I E -

Manipulation n° 4.

Microphone condensateur. Etude de quelques caractéristiques.

I. Objet de la manipulation:

Dans cette étude, la partie manipulation proprement dite est assez restreinte. Il s'agit plutôt de donner aux élèves quelques notions précises sur les caractéristiques principales des microphones condensateurs utilisés au laboratoire et de vérifier par le calcul et au moyen d'un petit nombre de mesures certaines caractéristiques indiquées par le constructeur ou omises par celui-ci. (tension mécanique du diaphragme, déplacement moyen du diaphragme pour différentes pressions sonores, impédance interne du microphone, exploitation de la courbe de réponse en pression).

II. Notions théoriques:

2.1. Principe du microphone condensateur:

Les schémas ci-dessous représentent deux types de réalisation d'un microphone condensateur.

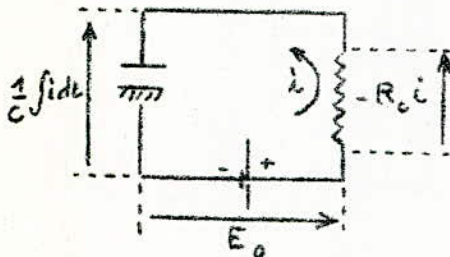


Comme on peut le constater d'après ces figures, un microphone condensateur est constitué pour l'essentiel par un diaphragme métallique tendu et encastré dans un bâti métallique, et une électrode métallique fixe isolée du bâti au moyen d'un isolateur généralement en quartz. Le diaphragme est en acier, en aluminium, ou en nickel ou alliage au nickel. Son épaisseur est de l'ordre de quelques microns. Le bâti métallique et l'électrode arrière sont en général de même nature. La distance qui sépare le diaphragme de l'électrode arrière est de l'ordre de quelques dizaines de microns.

Pour que le microphone puisse fonctionner, il faut appliquer entre le diaphragme et la plaque arrière une tension continue, appelée tension de polarisation E_0 , de l'ordre de 150 à 400 V suivant le cas. Les constructeurs prévoient le plus souvent un dispositif de réglage de la tension de polarisation permettant de faire varier cette tension dans un certain intervalle.

Schéma électrique de principe:

Toute onde sonore qui frappe le diaphragme modifie la capacité du condensateur "diaphragme + électrode arrière". Si l'on branche, à la sortie de la cartouche de microphone une résistance de charge R_c en série avec la source continue E_0 de polarisation, on voit qu'il y a apparition d'une tension e_c aux bornes de la résistance R_c , conformément au schéma ci-après.



Soit C_0 la capacité en l'absence d'une pression sonore appliquée et C_1 l'amplitude de la variation de la capacité $C(t)$ lorsqu'on applique au diaphragme une pression sonore $p = p_m \sin \omega t$.

Pour mener à bien cette étude on suppose que l'on peut écrire dans ce cas

$$(1) \quad C(t) = C_0 + C_1 \sin \omega t$$

Cette relation est conforme aux résultats expérimentaux.

Par ailleurs, l'équation correspondant au circuit électrique de principe peut s'écrire

$$E_0 - R_c i = \frac{1}{C} \int i \, dt \quad (2)$$

Soit, après dérivation

$$\frac{di}{dt} (C_0 + C_1 \sin \omega t) R_c + (1 + R_c C_1 \omega \cos \omega t) i - \omega C_1 E_0 \cos \omega t = 0 \quad (3)$$

Solution de l'équation (3):

Cette solution peut s'exprimer sous forme d'un développement en série de Fourier, soit

$$i = \sum_{n=0}^{+\infty} A_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (4)$$

En pratique, on a: $C_1 \ll C_0$ (5)

même pour des sons très intenses. Il est donc possible de négliger les harmoniques d'amplitudes A_2, A_3 , etc. devant le fondamental d'amplitude A_1 . La solution approchée de l'équation (3), solution qui correspond à notre problème particulier, a donc pour expression:

$$i \approx A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (6)$$

Calcul des constantes A_1 et φ_1 :

Ce calcul ne présente pas de difficultés particulières. Les élèves le feront donc en exercice au cours de la séance de manipulation. On tiendra évidemment compte de la relation (3) obtenue précédemment et on donnera à la variable t deux valeurs convenablement choisies. On montrera que les constantes A_1 et $\text{tg } \varphi_1$ s'expriment par les relations suivantes:

$$A_1 = \frac{C_1 E_0 \sqrt{1 + R_c^2 C_0^2 \omega^2}}{1 + \omega R_c C_1 + \omega^2 C_0^2 R_c^2} \approx \frac{E_0 C_1}{C_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{R_c^2 + \frac{1}{\omega^2 C_0^2}}} \quad (7)$$

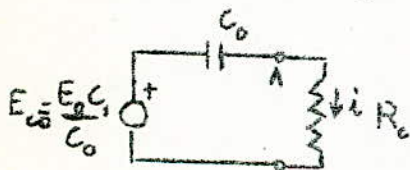
$$\text{tg } \varphi_1 = \frac{1}{\omega C_0 R_c} \quad (8)$$

Conclusion; schéma équivalent d'un microphone condensateur:

D'après les relations précédentes, on voit que la tension e_c recueillie aux bornes de la résistance de charge R_c a pour expression:

$$e_c = \frac{E_0 C_1}{C_0} \frac{R_c \sin(\omega t + \varphi_1)}{\sqrt{R_c^2 + \frac{1}{\omega^2 C_0^2}}} = R_c i \quad (9)$$

Cette relation prouve que le microphone condensateur est équivalent au générateur électrique suivant.



$E_0 C_1 / C_0$ est l'amplitude (maximale) de la tension du générateur à circuit ouvert.

On voit en outre que le générateur a une impédance interne capacitive égale à

$$Z_i = \frac{1}{j\omega C_0} \quad (10)$$

Remarque: Le schéma précédent ne tient compte que des composantes alternatives. Il est bien évident que, dans un schéma complet, il faut introduire la source continue E_0 en série avec la charge R_c .

2.2. Etude sommaire du microphone dans l'hypothèse de vibrations forcées:

Si on admet que le diaphragme soumis à la pression sonore se déplace de la même manière qu'une membrane soumise à des vibrations forcées, la théorie montre que, si la condition suivante

$$f < \frac{1}{2\pi a} \sqrt{\frac{T}{\sigma}} = f_b \quad (11)$$

est réalisée, le déplacement moyen x_{moy} de la surface du diaphragme

a pour expression:

$$x_{\text{moy}} = \frac{p_0 a^2}{8T} \sin \omega t \quad (12)$$

x_{moy} et a étant exprimés en cm, p_0 amplitude (maximale) de la pression sonore en microbars ou dyne/cm², T , tension du diaphragme, en dyne/cm. La grandeur σ présente dans la formule (1) est la densité superficielle ou masse surfacique du diaphragme.

La capacité du microphone se modifie lorsqu'on déplace le diaphragme sur une distance moyenne x_{moy} à partir de sa position normale en direction de l'électrode fixe.

Il est en général plus commode d'exprimer cette capacité en unités électrostatiques C. G. S ou "statfarad": 1 statfarad = 1,11 pF.

Alors

$$C_0 = \frac{a^2}{4d} \quad (13)$$

(a = rayon du diaphragme; d = distance entre diaphragme et plaque arrière, au repos).

Lorsqu'on déplace le diaphragme sur une distance moyenne x_{moy} , la nouvelle capacité C est égale à:

$$C = \frac{a^2}{4(d - x_{\text{moy}})} = \frac{C_0 d}{d - x_{\text{moy}}} \quad (14)$$

et comme $x_{\text{moy}} \ll d$ on peut écrire:

$$C = \frac{C_0}{1 - \frac{x_{\text{moy}}}{d}} = C_0 \left(1 + \frac{x_{\text{moy}}}{d} + \frac{x_{\text{moy}}^2}{d^2} + \dots \right)$$

$$C_0 + C_0 \frac{x_{\text{moy}}}{d} = C_0 + C_0 \frac{p_0 a^2}{8Td} \sin \omega t$$

On voit que, en comparant ce résultat avec la relation (1):

$$C_1 = C_0 \frac{p_0 a^2}{8dT} \quad (15)$$

L'amplitude maximale E_{co} de la tension à circuit ouvert a donc pour expression:

$$E_{\text{co}} = \frac{E_0 p_0 a^2}{8dT} \quad (16)$$

On en déduit l'expression de la sensibilité théorique du microphone à circuit ouvert:

$$G_{\text{co}} = \frac{E_{\text{co}}}{p_0} = \frac{E_0 a^2}{8dT} \quad (17) \text{ en volt/microbar.}$$

Fréquence fondamentale du diaphragme:

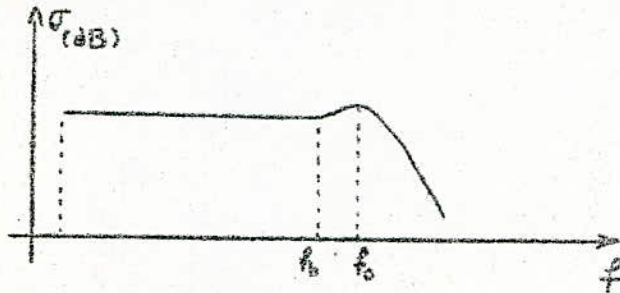
La fréquence f_0 ou fréquence basse introduite précédemment est la fréquence au-dessus de laquelle la courbe de réponse en pression du microphone cesse d'être plate. Une autre fréquence intéressante à envisager est la fréquence fondamentale du diaphragme f_0 .

La théorie montre que cette fréquence fondamentale, pour laquelle il y a résonance du diaphragme, a pour expression:

$$f_0 = 2,405 f_b = \frac{2,405}{2\pi a} \sqrt{\frac{T}{\sigma}} \quad (18)$$

Au voisinage de cette fréquence, on observe en général que le microphone a une sensibilité maximale, supérieure de quelques dB à la sensibilité basse-fréquence. Cet accroissement de sensibilité est fonction de l'importance des forces d'amortissements. Il est possible de supprimer cette résonance en jouant sur l'importance des forces d'amortissement (voir microphone 4131).

Au-delà de la fréquence fondamentale, la sensibilité décroît rapidement. Ceci est dû au fait que le mouvement du diaphragme est contrôlé par la masse. Le déplacement moyen x_{moy} n'est donc plus indépendant de la fréquence, et la sensibilité x_{moy} diminue proportionnellement à $1/f^2$ (où à $1/f$ suivant le degré d'amortissement).



Etage préamplificateur:

L'impédance interne $1/\omega C_0$ de la cartouche microphonique est très élevée aux fréquences audibles (quelques mégohms à quelques dizaines de $M\Omega$). De ce fait, il est nécessaire de prévoir entre l'amplificateur proprement dit et la sortie du microphone un étage adaptateur d'impédance à très forte impédance d'entrée (plusieurs centaines de mégohms). On utilise le plus souvent un montage à cathode suiveuse qui permet d'obtenir une impédance d'entrée très élevée et une impédance de sortie réduite à quelques centaines d'ohms. (voir schémas fournis plus loin).

La cartouche de microphone doit être placée à proximité immédiate de l'étage adaptateur, de façon à éliminer la capacité supplémentaire introduite par un câble blindé de liaison, ce qui aurait pour effet d'augmenter la capacité totale du microphone et donc de réduire sa sensibilité.

III. Principales caractéristiques de construction des microphones utilisés au laboratoire:

Les renseignements qui suivent sont extraits de la notice fournie par le constructeur.

Les microphones disponibles au laboratoire sont des microphones Brüel & Kjaer type 4131/4132, dits "microphones d'un pouce". Le diamètre de la cartouche est en effet voisin d'un pouce, soit 2,54 cm.

Les matériaux utilisés pour la construction de ces microphones ont été choisis de manière à ce que les caractéristiques des cartouches ne subissent que de très faibles variations au cours du temps; en outre, la sensibilité doit être pratiquement indépendante de la température.

Le boîtier et la plupart des parties métalliques sont donc réalisés en un alliage spécial à forte teneur de nickel ("K - Monel"). Les isolateurs sont en quartz traité au silicone. Les contacts des liaisons entre cartouche et cathode suiveuse sont plaqués or, pour éviter l'apparition de résistances parasites susceptibles de modifier les caractéristiques de l'ensemble "cartouche + cathode suiveuse".

Le diaphragme est en nickel (masse volumique = $8,8 \text{ g/cm}^3$); son épaisseur est égale à 5 microns. En l'absence de tension de polarisation E_0 , la distance qui le sépare de l'électrode arrière est égale à 22 microns. Cette distance est réduite à 20 microns lorsque l'on applique une tension de polarisation égale à 200 volts. La capacité de la cartouche polarisée est de l'ordre de 60 pF. La valeur exacte de cette capacité pour $E_0 = 200 \text{ V}$ et $f = 1000 \text{ Hz}$ est indiquée par le constructeur dans la fiche d'étalonnage qui accompagne chaque microphone.

La résistance d'isolation entre diaphragme et électrode arrière est supérieure à 100 000 mégohms (valeur garantie par le constructeur).

Capuchon de microphone, UA 0135 (dispositif de tropicalisation):

Chaque microphone est pourvu d'un capuchon protecteur qui permet de conserver les cartouches, sans risques de détérioration, dans une atmosphère chaude et fortement humide. On peut ainsi limiter les risques de condensation, condensation qui pourrait apparaître à l'intérieur de la cartouche microphonique lorsque celle-ci est utilisée dans une atmosphère moins chaude.

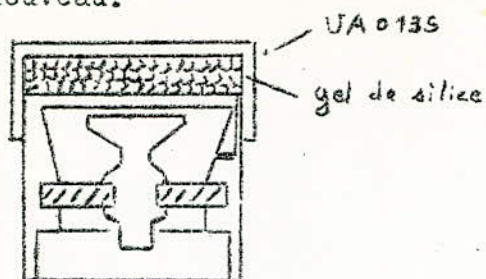
A l'Ecole, l'usage de ces capuchons protecteurs est une nécessité absolue car le taux d'humidité relative descend rarement au-dessous de 80 % et atteint fréquemment 100 % pendant la nuit. Faute de précautions, les microphones pourraient être mis ainsi temporairement hors d'usage, leur sensibilité et leur réponse en fréquence présentant alors des anomalies considérables par rapport à leur fonctionnement normal. Dans un tel cas, il faut, pour régénérer le microphone, placer celui-ci dans une atmosphère très sèche pendant une semaine au moins. On peut, par exemple, enfermer le microphone défectueux dans une boîte remplie de gel de silice desséché au préalable, et aussi étanche que possible.

Le capuchon UA 0135 permet également de mettre le microphone à l'abri de la poussière.

Le matériau du capuchon résiste à des températures élevées; il contient un produit desséchant (gel de silice) additionné de sel de cobalt (ce dernier servant d'indicateur coloré).

A l'état sec, le gel de silice est bleu; lorsque ce produit vire au rose cela signifie qu'il est saturé et qu'il doit être desséché

à nouveau.



Le processus de "dessiccation" peut être exécuté à plusieurs reprises en chauffant le capuchon pendant 1/2 heure à 1 heure environ à une température comprise entre 100°C et 150°C.

Lorsque le microphone est mis en réserve, le gel de silice ne peut être exposé qu'à l'air contenu dans le microphone.

On aura donc soin, après usage du microphone et avant de replacer

celui-ci dans son coffret, de coiffer la partie supérieure de la cartouche au moyen de ce capuchon, afin de maintenir sec l'air contenu dans le microphone.

Il faut remarquer cependant que, à l'école, cette mesure de protection est le plus souvent insuffisante, car le gel de silice se sature très rapidement. On aura donc intérêt dans tous les cas à placer les microphones, coiffés de leurs capuchons séchés au préalable, dans une boîte étanche contenant du gel de silice non saturé.

Pour passer de l'état sec à l'état saturé, le gel de silice du capuchon doit absorber approximativement 0,17 mg d'eau.

Les cartouches de microphones de 1 pouce ont un volume interne de 1 cm³. Le volume d'air total renfermé sous le capuchon lorsque celui-ci est monté sur la cartouche est approximativement égal à 2 cm³.

La teneur en eau de l'air saturé est donnée par les chiffres suivants:

9,4.10 ⁻⁶ g/cm ³	à 10°C
17,3.10 ⁻⁶ g/cm ³	à 20°C
30,4.10 ⁻⁶ g/cm ³	à 30°C
51,1.10 ⁻⁶ g/cm ³	à 40°C

Nettoyage du diaphragme du microphone:

ATTENTION. En aucun cas le diaphragme du microphone ne doit entrer en contact avec les doigts du manipulateur ou avec d'autres objets. Il ne faut pas oublier que l'épaisseur de ce diaphragme est extrêmement faible (à peine 5 microns). Il ne faut donc retirer la grille de protection qu'en cas de nécessité absolue (mesure d'étalonnage à l'excitateur électrostatique par exemple). Si cette grille assure une protection efficace contre les chocs elle ne peut arrêter les particules liquides ou solides qui risquent de se déposer sur le diaphragme. Ce rôle protecteur est dévolu au capuchon UA 0135.

Dans le cas où le diaphragme doit être nettoyé, il faut, pour cette opération, utiliser un pinceau très fin, et procéder avec une attention extrême. Si nécessaire, on utilisera un solvant convenable.

En principe, le diaphragme ne subit aucune corrosion. Toutefois, une masse additionnelle accidentellement déposée sur ce diaphragme (poussières, particules liquides) peut altérer notablement l'allure et la réponse en fréquence.

Caractéristiques particulières des microphones 4131 et 4132:

Les microphones 4131 et 4132 n'ont pas les mêmes propriétés et ne sont pas destinés au même usage.

La cartouche de microphone 4131 est conçue pour des mesures en champ libre. Sa réponse de fréquence en champ libre, pour une incidence normale, est plate jusqu'à 18 kHz (la grille de protection étant montée sur la cartouche).

La cartouche de microphone 4132 possède une caractéristique de réponse en pression qui est plate jusqu'à 7 kHz.

Ce dernier microphone est donc particulièrement intéressant lorsqu'on fait des mesures dans de petits volumes clos (cas des oreilles artificielles).

On pourra comparer ces différentes réponses en fréquence en utilisant les résultats de la manipulation précédente ou en se reportant aux fiches d'étalonnages fournies par le constructeur.

Les différences observées sont dues au fait que la résonance du diaphragme n'est pas amortie de la même façon dans l'un et l'autre cas.

La résonance du diaphragme est fortement amortie dans le cas du microphone 4131, et on fonctionne au-delà du régime critique. L'augmentation de pression en champ libre et pour une incidence normale est donc compensée par la diminution de la sensibilité à la pression jusqu'à 18 kHz.

Dans le cas du microphone 4132, on fonctionne au régime critique de façon à ce que la réponse en pression soit la plus plate possible.

La fréquence de résonance du microphone 4131 est de l'ordre de 10 kHz; elle est voisine de 8 kHz pour le microphone 4132.

En pratiquant de petites ouvertures dans l'électrode arrière et en réglant de manière convenable la tension du diaphragme on peut obtenir l'amortissement voulu (critique ou sur-critique).

L'allure de la courbe de réponse aux basses fréquences ne dépend que du dispositif d'égalisation de la pression statique.

Ce dispositif consiste en un petit tube capillaire grâce auquel on réalise avec une vitesse convenable l'égalisation de la pression statique ambiante de part et d'autre du diaphragme.

L'influence des variations de la pression ambiante (ou de l'altitude) sur la sensibilité du microphone a été réduite au minimum grâce à une conception judicieuse du conduit d'égalisation de la pression.

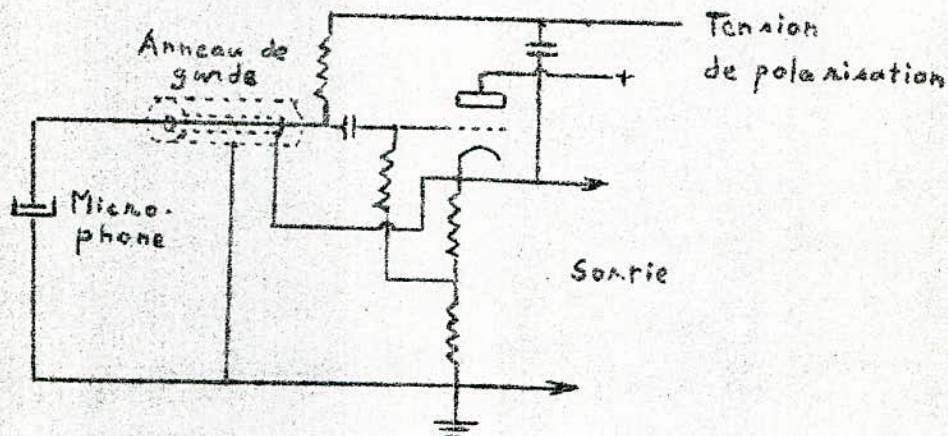
L'une des ouvertures de ce conduit débouche devant le diaphragme. L'égalisation de pression peut donc se réaliser non seulement en champ libre mais aussi dans le cas de mesures sur des volumes clos. En outre, la température à l'intérieur du microphone est supérieure de quelques degrés à celle de l'ouverture (extérieure) du conduit d'égalisation, à cause de la chaleur dégagée par la cathode suiveuse. Ceci permet d'éviter la condensation de l'humidité à l'intérieur de la cartouche.

La constante de temps du dispositif égalisateur de pression est égale à 0,05 s pour les microphones 4131/4132. Ceci correspond à une fréquence de coupure à -3 dB approximativement égale à 3 Hz.

Les mesures ne sont donc pas influencées par le fonctionnement du système d'équilibrage de la pression statique, puisque le microphone à une fréquence de coupure à -3 dB égale à 10 Hz.

VI. Cathode suivouse 2612 et 2613:

Nous ne donnons ici que le schéma de principe et les caractéristiques principales de ces cathodes suivouses. On se reportera, pour un complément d'information, à la notice 4131/4132 du constructeur. Le schéma de principe est représenté ci-dessous.



On remarquera que l'entrée de la cathode suivouse est munie d'un blindage interne, réalisé au moyen d'un "anneau de garde" relié à la cathode du tube. De cette manière, la valeur de la capacité d'entrée est réduite à un minimum absolu.

Principales caractéristiques électriques:

Impédance d'entrée: 270 mégohms en parallèle avec 3 pF.

Impédance de sortie: 750 ohms.

Perte à la transmission: Chute de tension: 0,8 dB \pm 0,2 dB

Niveau de bruit inhérent: Approximativement 20 V, l'entrée étant chargée par une capacité de 60 PF (20 Hz - 20 kHz).

Tension d'entrée maximale pour un taux de distorsion de 4%: 20 V efficaces (l'impédance de charge étant supérieure à 50 k .

VII. Travail à effectuer:

Les élèves utiliseront l'une des fiches d'étalonnage fournies par le constructeur. Ils devront spécifier dans leur compte-rendu le type du microphone et son numéro de série.

D'après les données suivantes:

épaisseur du diaphragme $e = 5$ microns

distance d lorsque $E_0 = 200$ V: $d = 20$ microns

diamètre du diaphragme: $2a = 22,76$ mm

Les autres caractéristiques intéressantes seront relevées sur la fiche d'étalonnage fournie au cours de la manipulation.

1°). Déterminer, à partir des données précédentes, et en utilisant les formules théoriques du paragraphe II, les fréquences f_b et f_o du microphone. On calculera auparavant la tension T du diaphragme.

2°). Calculer E_{co} et $1/\omega C_o$ pour $p_m = (1, 10, 20 \text{ microbars})$ et $f = 1000 \text{ Hz}$.

3°). Comparer les résultats obtenus au 1°) avec ceux que vous pouvez déduire de la fiche d'étalonnage (examiner les courbes de réponse en pression).

4°). Calculer en microns l'amplitude maximale de x_{moy} pour $p_m = (1, 10, 20 \text{ microbars})$. Conclusion?

5°). Au-delà de la fréquence fondamentale du diaphragme on peut écrire

$$\sigma_{\text{dB}} = A + \log_{10} f^B$$

Déterminer, d'après la courbe de réponse en pression fournie par le constructeur les valeurs pratiques de A et de B .

6°). Relover, au moyen du pistonphone, la sensibilité à 250 Hz du microphone. Comme dans la manipulation précédente on fera toutes les corrections nécessaires.

Reprendre les calculs des 1°), 2°), 3°) et 4°) en admettant que:

$$(\sigma_{\text{circuit ouvert}})_{\text{dB}} = (\sigma_{\text{mesuré}})_{\text{dB}} + 1,2 \text{ dB}$$

Que peut-on dire de la tension T du diaphragme lorsqu'on fait varier la tension de polarisation E_o pour une fréquence $f < f_b$?

Quelle peut-être l'influence de ces variations sur l'allure de la réponse en fréquence et sur la sensibilité du microphone dans toute la gamme de fréquences?

Mesurer la sensibilité du microphone à 250 Hz au moyen du pistonphone pour les tensions de polarisation suivantes:

$E_o = 160 \text{ V}, 180 \text{ V}, 200 \text{ V}, 220 \text{ V}, 240 \text{ V}, 250 \text{ V}$.

Tracer la courbe $T = f(E_o)$.

Erratum:

Remplacer p_o par p_m dans les formules (12), (15), (16), (17).

RESULTATS :

1° calcul de T :

$$T = \frac{E_0 a^2}{8 d \epsilon_{co}} = \frac{200 \times (1,138)^2}{8 \times 2010 \times 4,9610} = 3,2610^6 \text{ mb/cm.}$$

avec $E_0 = 200 \text{ V}$ $a = 1,138 \text{ cm}$ $d = 20 \text{ m} = 20 \times 10^4 \text{ cm.}$
 $\epsilon_{co} = 4,96 \text{ mV/mbar}$

calcul de f_b

$$f_b = \frac{1}{2\pi a} \sqrt{\frac{T}{\rho}} \quad \text{avec } \rho: \text{ densité superficielle.}$$

et $\rho = \beta \times e = 8,8 \text{ g/cm}^3 \times 510^4 \text{ cm} = 44 \text{ g/cm}^2 \times 10^4$

$$f_b = \frac{1}{2\pi a} \sqrt{\frac{E_0 a^2}{8 d \epsilon_{co} \rho}} = \sqrt{\frac{E_0}{4\pi^2 \times 8 d \epsilon_{co} \rho}}$$

$$f_b = \sqrt{\frac{1}{40} \times \frac{200}{8 \times 20 \times 4,96 \times 44 \times 10^4}} = 3,78 \text{ KHz}$$

Calcul de f_0

$$f_0 = 2,405 f_b = 2,405 \times 3,8 \text{ K} = 9 \text{ KHz}$$

2° Calcul de E_{co} :

$$\frac{E_{co}}{\text{pm}} = \epsilon_{co} \quad E_{co} = \epsilon_{co} \times \text{pm}$$

$\text{pm} = 1 \text{ mb } (\lambda) \quad \epsilon_{co} = 4,96 \text{ mV/mb} : \quad E_{co} = 4,96 \times 1 = 4,96 \text{ mV}$

$\text{pm} = 10 \text{ mb} \quad \epsilon_{co} = 4,96 \text{ mV/mb} : \quad E_{co} = 4,96 \times 10 = 49,6 \text{ mV}$

$\text{pm} = 20 \text{ mb} \quad \epsilon_{co} = 4,96 \text{ mV/mb} : \quad E_{co} = 4,96 \times 20 = 99,2 \text{ mV}$

$\text{mb} = \mu\text{b}$

Calcul de $1/WCo$

$$\text{Détermination de } Co : Co = \frac{a^2}{4d} = \frac{(1,138)^2}{4 \times 2010^{-4}} = 161,88 \text{ sf}$$

$$\text{sf} = \text{statfarad} = 1,11 \text{ pf}$$

$$\text{d'où } Co = 161,88 \times 1,11 \text{ pf} = 179,68 \text{ pf}$$

$$\text{et on aura : } \frac{1}{WCo} = \frac{1}{2\pi \times f \times Co} = \frac{1}{2\pi \times 1K \times 179,68 \text{ pf}}$$

$$\frac{1}{WCo} = 886,210^3 \Omega = 886,2 \text{ K}\Omega = 0,8862 \text{ M}\Omega \approx 0,89 \text{ M}\Omega$$

3°) On déduira sur la fiche d'étalonnage que : $f_b \approx 3\text{Khz}$ et $f_o \approx 6\text{Khz}$. On a une nette variation entre les résultats. ceci est due à : f qui est fonction de la tension de polarisation et due aussi au fonctionnement en régime critique du 4132. Le constructeur nous donne une fréquence $f_0 \approx 8\text{Khz}$ (7Khz). Car les variations ambiantes interviennent beaucoup.

4°) Calcul de l'amplitude maximum de X moy.

$$X \text{ moy} = \frac{P_m a^2}{8 T} \text{ siu wt} \quad \text{siu wt maximum pour 1}$$

$$\text{d'où } X \text{ moy}_M = \frac{P_m a^2}{8 T} = \frac{1 \times (1,138)^2}{8 \times 3,26 \times 10^6} = 0,05 \text{ m} \quad P_m = 1$$

$= 0,05 \mu$

$$P_m = 10 \text{ mb}$$

$$X \text{ moy}_M = 0,5 \text{ m} = 0,5 \mu \quad \text{m: micron } (\mu)$$

$$P_m = 20 \text{ mb}$$

$$X \text{ moy}_M = 1 \text{ m} = 1 \mu$$

5°) on prendra sur la courbe de réponse en pression fournie par le constructeur les valeurs :

$$\begin{aligned} \phi &= -5 \text{ db} && \text{pour } f = 10 \text{ KHz} \\ \phi &= -14 \text{ db} && \text{pour } f = 20 \text{ KHz} \end{aligned} \text{ et on aura :}$$

$$\begin{aligned} \phi &= A + \log_{10} f^B && \phi &= A + \log_{10} f^B \\ (1) - 5 &= A + \log 10^{4B} \\ (2) - 14 &= A + \log 2^B \times 10^{4B} = A + \log 10^{4B} + \log 2^B \\ (2) - (1) &= -9 = \log 2^B = B \log 2 = B \times 0,3 && B &= -30 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{et on aura : } A &= -5 - \log 10^{4 \times -30} = -5 + (120 \times 1) \\ &= -5 + 120 = 115 \text{ db.} \end{aligned}$$

$$\text{d'où } \phi = 115 + \log_{10} f^{-30}$$

6°) on obtiendra des résultats identiques.

On mesurera P_m avec l'amplification de Microphone exactement de la même façon que la manipulation III et $\phi = \frac{E_0}{P_m}$

avec $E_0 = 200 \text{ V}$ et on aboutira aux mêmes résultats.

On avait calculé T par la formule:

$$T = \frac{E_0 a^2}{\text{si } d \approx c^{te}} \quad \text{avec } a = c^{te} \quad d_{cc} = c^{te} \quad d \approx c^{te}$$

On voit que si $E_0 \rightarrow$ on aura $T \rightarrow$ l'influence des variations de T sur la courbe de réponse et sur la sensibilité se traduit par une sensibilité constante et linéaire et sur la courbe on aura une plate-forme pour $f < f_b$. Car dans ce cas on amortit les vibrations.

On aura aussi une influence sur f_b la fréquence basse et sur f_0 la fréquence fondamentale qui diminueront car ils sont en fonction de E_0 .

APPLICATIONS :

Très restreinte dans le domaine acoustique ; mais bénéfique dans la partie maintenance la manipulation III permet de vérifier le domaine de fidélité en fréquence des microphones et leur sensibilité. Quant à la manipulation IV elle permet de vérifier nos connaissances théoriques et de ce fait de pouvoir apprécier le microphone.

-°- CONCLUSION -°-
-°-°-°-°-°-°-

Les travaux pratiques contenus dans ce projet sont destinés à donner aux étudiants certains procédés de mesure en électroacoustique et il nous a paru indispensable de reproduire en détail les caractéristiques du matériel utilisé, afin :

1°). De permettre aux étudiants d'utiliser intelligemment les appareils mis à leur disposition et d'en tirer le maximum de performances,

2°). De leur familiariser avec les termes et les spécifications rencontrés dans les notices des constructeurs et de leur faire apparaître la nécessité absolue d'étudier avec soin ces notices.

3°). De faciliter, par la suite, le choix des appareils destinés à former les éléments d'une chaîne de mesure acoustique de haute précision.

Nous espérons que, de cette manière les enregistreurs, oscillateurs et autres instruments ne représenteront pas seulement pour les élèves des boîtes munies de cadrans et de boutons que l'on tourne plus ou moins au hasard après avoir réalisé des branchements avec une incertitude.

Nous espérons aussi que ces travaux pratiques aideront à ranimer le laboratoire d'acoustique. Nous souhaitons aussi que ce travail, puisse être amélioré et développé rapidement dans les années à venir avec l'intégration d'autres travaux pratiques, (mesure du temps de réverbération ; étude d'un électrophone, mesure de l'isolation d'une paroi) et que ce même laboratoire soit alimenté en matériel de tel sorte à concevoir plusieurs travaux pratiques en même temps, et de pouvoir persévérer dans notre tâche d'édification. Nous joignons à tout ceci une liste de matériel indispensable :

- Batteries pour pistophones.
- Cartouche de microphones 4131, 4132.
- Amplificateur de microphone 2603.
- Accessoires d'écriture pour enregistreur 2305.
- Réparation du sonomètre.
- Réparation du coffret d'essai de prothèses auditives.

-- BIBLIOGRAPHIE: --

- A c o u s t i q u e Industrielle: P LIENARD ; P FRANCOIS.
- A c o u s t i q u e : J Mercier.
- Catalogue Resumé : BRUEL ; KJAER.
- Mesures electrostatique: M BOISRAYON .
- Fiche Techniques : BRUEL = KJAER.
- Sonometre de précision Type - 2209.
- Générateur à battements Type - 1022.
- Preampli pour microphones Type - 2615.
- Jeu de Filtres d'Octave Type - 1613.
- Microphones à Condensateur Type - 4133.
- Enregistreur de Niveau Type - 2305.
- Appareillage de Mesure à
Ondes stationnaires Type - 4002.