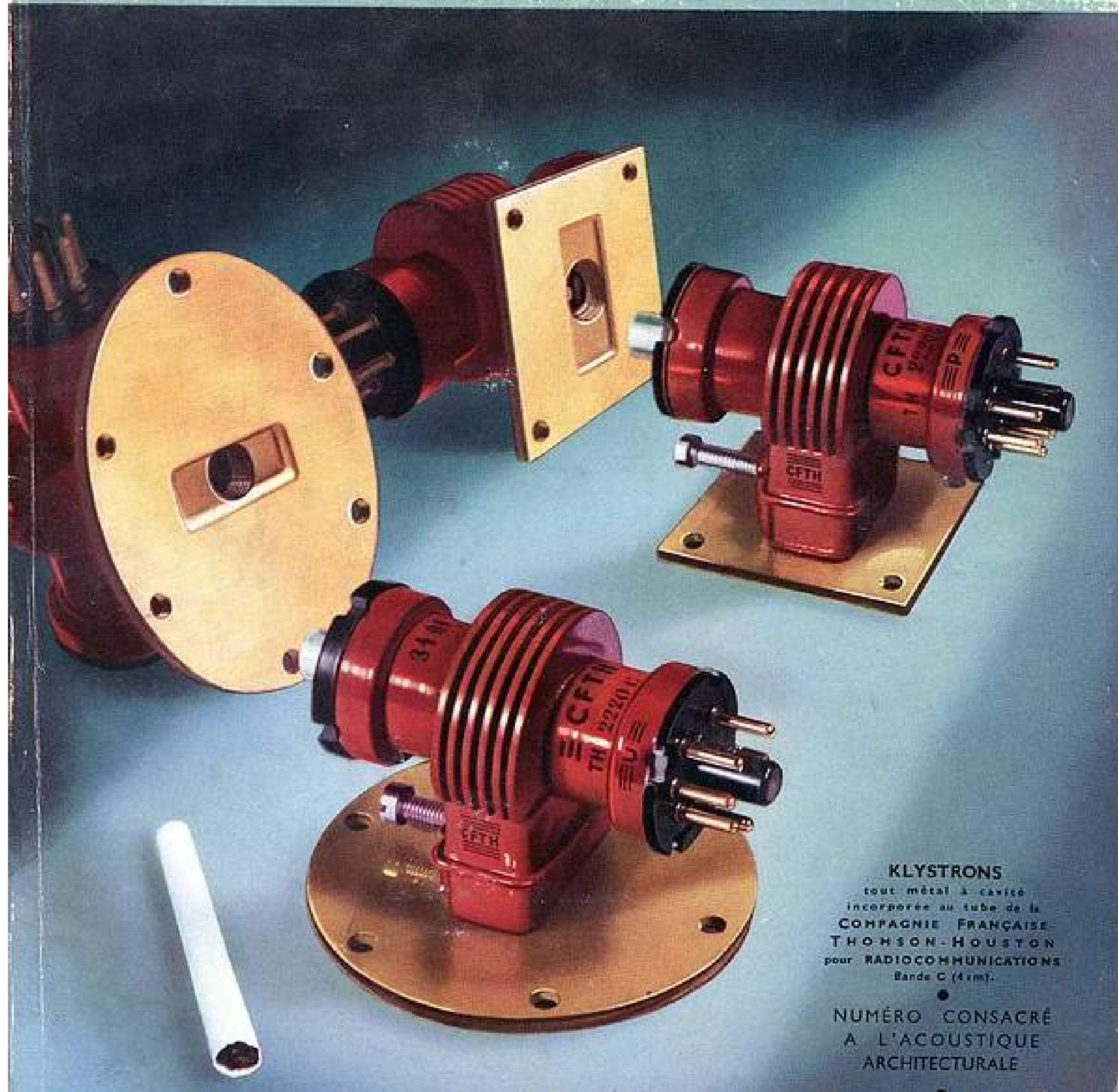


L'ONDE ÉLECTRIQUE

36^e ANNÉE - N° 350
M A I 1 9 5 6
PRIX : 300 FRANCS

REVUE MENSUELLE DE LA SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS
ÉDITIONS CHIRON, 40, RUE DE SEINE, PARIS - 6^e



KLYSTRONS
tout métal à cavité
incorporés au tube de la
**COMPAGNIE FRANÇAISE
THOMSON-HOUSTON**
pour RADIOCOMMUNICATIONS
Bande C (4 cm).

•
NUMÉRO CONSACRÉ
A L'ACOUSTIQUE
ARCHITECTURALE
•

L'ONDE ÉLECTRIQUE

Revue Mensuelle publiée par la Société des Radioélectriciens
avec le concours du Centre National de la Recherche Scientifique

Vol. XXXVI

MAI 1956

N° 350

ÉDITIONS CHIRON, 40, rue de Seine, PARIS-6^e. — C.C.P. Paris 53-35

Abonnements : 1 an : France : 3.000 F - Étranger : 3.300 F — Prix de ce N° : 300 F

Exclusivité de la Publicité : M. R. DOMENACH, 161, bd Saint-Germain, PARIS-6^e, Tél. LIT. 79-53

SOMMAIRE

		Pages
Éditorial	J. MATRAS	383
Acoustique architecturale (étude synthétique)	J. MATRAS	384
Aspect acoustique de l'étude des grands auditoria.....	R. LAMORAL	410
Studios récents de radiodiffusion	J. PEJOLLE	419
Visualisation des ondes sonores et ultrasonores	F. CANAC	422
Sur les propriétés acoustiques des matériaux	Th. VOGEL	428
Isolément acoustique de structures lourdes.....	J. PEJOLLE	433
Nouvelle caractéristique acoustique des salles et réalisation d'un comp- teur polyvalent	R. LAMORAL et R. THOMAS	441
La mesure des bruits. — Problèmes physiques et problèmes physiologiques	P. BARDON	450
Contribution à l'étude de la normalisation des audiomètres.....	R. LEHMANN	466
La normalisation des équipements de télévision à la Radiodiffusion-télévision française	L. GOUSSON	479
Vie de la Société		487
Informations diverses		478

Sur notre couverture :

Klystrons TH 2220 de hautes performances construits en France, sous licence Varian, par le Groupe
Électronique de la Compagnie Française Thomson-Houston, 173, boulevard Haussmann, Paris 8^e.
— Voir détail page 478.

Les opinions émises dans les articles ou comptes rendus publiés dans L'Onde Électrique n'engagent que leurs auteurs.

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

10, Avenue Pierre-Larousse, Malakoff (Seine). — Tél. ALÉSIA 04-16 — C.C.P. Paris 697-38

comptage électronique

pour le laboratoire

MESURE

- des temps
- des fréquences
- des périodes
- des longueurs
- des angles
- des vitesses
- etc...

et l'atelier

COMPTAGE

de tout
ce qui est traduisible
en impulsions électriques
jusqu'à
1 MILLION D'OBJETS
PAR SECONDE.



TYPE 45.18.1.
COMPTEUR A 1 MEGACYCLE
LICENCE L.C.A.

BELIN

ETABLISSEMENTS EDOUARD BELIN
296, AVENUE NAPOLEON BONAPARTE
A RUEIL-MALMAISON (S.-et-O.)
WAG 93-63 et MAL 05-54

ACOUSTIQUE ARCHITECTURALE

(Synthèse)

PAR

J. MATRAS

Ingénieur général de la R.T.F.

0. — INTRODUCTION

01. — Le présent article qui fait le point à ce jour (1956) de l'*Acoustique architecturale* est destiné aux lecteurs non spécialisés.

02. — L'*Acoustique architecturale* a pour objet essentiel de rendre aussi conforme que possible au désir des occupants, les conditions d'écoute à l'intérieur des salles — et plus généralement d'un local quelconque.

Pour ce faire, elle est conduite à distinguer deux catégories de sons : les *sons utiles*, ou *désirés*, et les *sons nuisibles*, ou *bruits*.

Alliée des uns, elle met tout en œuvre pour que l'oreille puisse les percevoir, tant en niveau qu'en qualité, avec l'agrément maximum.

Ennemie des autres, elle s'efforce de les étouffer dans l'œuf et, si elle n'y parvient pas, de les traquer avec une vigueur telle que, même s'ils s'infiltrèrent jusqu'aux oreilles des auditeurs, la gêne qu'ils lui causent soit mineure.

03. — Il n'est pas possible de caractériser chacun de ces deux groupes de sons, par ses *propriétés physiques*, par les qualités de l'onde acoustique qui en est le véhicule.

Certes, des études *statistiques* mettent facilement en évidence le fait que les *sons désirés* sont le plus souvent des *sons musicaux* ou de la *voix humaine*, mais il arrive que la perception de certains bruitages n'ayant aucun caractère musical ou vocal soit souhaitée. Inversement, suivant le lieu d'écoute ou les dispositions physiologiques ou psychologiques des auditeurs, il arrive fréquemment que des éléments musicaux ou vocaux constituent des sons indésirables. Il est d'ailleurs bien connu que la meilleure méthode pour *brouiller* une production est de la perturber par une production de *même nature*.

En conséquence, en première approximation, l'*Acoustique architecturale* ne s'occupe pas de la nature des sons étudiés, auxquels elle donne le nom

de *bruits* quand ils sont considérés comme éléments perturbateurs, quelles que soient leurs propriétés physiques.

04. — L'*Acoustique architecturale* comprend deux parties presque indépendantes l'une de l'autre, que nous traiterons séparément :

— La Protection contre les perturbations phoniques ;

— La Répartition des sons à l'intérieur des salles.

I. — PROTECTION CONTRE LE SON

1.1. — Les bruits.

1.1.1. — CLASSIFICATION.

On a coutume de distinguer trois catégories de bruits : les bruits réguliers, irréguliers et musicaux.

Les bruits *réguliers* ou bruits d'*ambiance* résultent de la superposition incohérente d'un grand nombre de *bruits élémentaires* de nature et d'origine diverses de sorte que, pour des raisons statistiques, les bruits *réguliers* possèdent les 3 propriétés suivantes :

— leur *intensité moyenne* varie peu ou tout au moins *lentement*, autant dans l'espace que dans le temps ;

— ils n'ont pas en général de fréquences prédominantes — ou si l'on veut, ils en ont beaucoup ;

— ils sont à peu près impossible à attaquer « à leur source », en raison du nombre élevé de celles-ci.

Les bruits *irréguliers* se caractérisent par une *forte intensité* et une *durée brève* — sinon ils constitueraient le bruit ambiant ou une de ses fractions (tels sont les coups de sifflet, klaxons, sirènes, etc...) :

— ils ont en général un *nombre limité* de fréquences dominantes ;

— ils peuvent être facilement attaqués à leur *source* — techniquement tout au moins.



Potentiometer Headquarters

	H			HM	MS	MS		SM	HT		CP	BB	B						
	H-150	H-100	H-150										B-4B	B-12	B-20	B-23	B-17	B-14	
DIAMÈTRE en	3,81	2,54	1,91	2,54	1,91	2,54	1,91	1,27	2,54	1,91	2,54	2,54	7,62	5,08	4,44	3,43	2,89	2,23	
NOMBRE DE TOURS	10-5-1			10-5	10-5	10-5-1		10-5-1	10-5-1		10-5-1	10-5-1	1	1	1	1	1	1	
LONGUEUR DU CORPS																			
10 tours en	5,08	5,08	4,28	2,54	4,13	4,44	5,71	3,71	4,74	3,57	8,25	6,83	2,79	2,79	2,19	2,19	1,94	1,94	
5 tours en	3,49	3,49	3,02	1,91	2,86	3,08	4,28	2,61	3,17	2,29	5,34	4,54	add. exp.	—	—	—	—	—	
1 tour en	1,42	1,42	0,95	—	—	—	—	0,21	—	—	2,74	2,74	2,14	2,14	1,62	1,62	1,40	1,40	
DIAMÈTRE DE L'AXE en	0,415			0,415	0,415	0,415		0,415	0,415		0,415	0,415	0,415	0,415	0,415	0,415	0,415	0,107	0,107
LONGUEUR DE L'ÉLÉMENT DE RÉSISTANCE																			
10 tours en	101,6	66,04	30,8	66,3	30,8	66,04	30,8	27,94	66,04	30,8	66,04	66,04	—	—	—	—	—	—	—
5 tours en	50,8	33,02	15,4	34,3	15,4	33,02	15,4	13,97	33,02	15,4	33,02	33,02	—	—	—	—	—	—	—
1 tour en	10,1	6,60	3,1	—	—	6,60	—	2,8	—	—	6,60	6,60	21,7	19,13	12	12	9,55	4,54	3,13
ROTATION MÉCANIQUE	1400-8-1/2" 1800-8-1/2" et continue			1400-8-1/2" 1800-8-1/2"	1400-8-1/2" 1800-8-1/2"	1400-8-1/2" 1800-8-1/2" continue		1400-8-1/2" 1800-8-1/2" continue		1400-8-1/2" 1800-8-1/2" continue		1400-8-1/2" 1800-8-1/2" continue	CONTINUE						
ROTATION ÉLECTRIQUE	1400-8-1/2" 1800-8-1/2" 154 ± 2"			idem	idem	1400-8-1/2" 1800-8-1/2" 154 ± 2"		1400-8-1/2" 1800-8-1/2" 145 ± 2"		1400-8-1/2" 1800-8-1/2" 154 ± 2"		idem	1800-8-1/2" 1800-8-1/2" 154 ± 2"	152 ± 2"	152 ± 2"	152 ± 2"	150 ± 2"	150 ± 2"	150 ± 2"
GAMME DE RÉSISTANCE	15-300 K ± 5% ± 0,5%			250-100 K ± 5% ± 0,5%	50-150 K ± 5% ± 0,5%	100-200 K ± 5% ± 0,5%		4-50 K ± 10% ± 1%	100-200 K ± 5% ± 0,5%		100-200 K ± 5% ± 0,5%	100-200 K ± 5% ± 0,5%	500-600 K ± 5% ± 1%	150-200 K ± 5% ± 1%	150-200 K ± 5% ± 1%	100-150 K ± 5% ± 1%	100-100 K ± 5% ± 1%	100-100 K ± 5% ± 1%	15-200 K ± 5% ± 1%
TOLÉRANCE LINÉAIRE	± 5% ± 1%			± 0,5% ± 0,1%	± 0,5% ± 0,1%	± 0,5% ± 0,1%		10-5 tours ± 1% ± 0,25% 1 tour ± 4% ± 1%	± 0,5% ± 0,1%		± 0,5% ± 0,1%	± 0,5% ± 0,1%	± 0,5% ± 0,08	± 0,5% ± 0,1%	± 0,5% ± 0,1%	± 0,5% ± 0,1%	± 0,5% ± 0,1%	± 0,5% ± 0,2%	± 0,5% ± 0,25%
COUPLE DE DÉMARRAGE	22,4	23	11,3	14,3	10	39	35	22,4	28	28	28	8,5	0,9	0,7	0,7	0,7	0,54	0,40	0,36
RÉGIME DES PUSANCES C 90°C																			
10 tours	4	4	3	3	3	4	3	1,5	4	3	4	4	4	4,5	1	1	1	1	1
5 tours	3	3	2	1,5	2	3	2	1	3	2	3	3	3	4,5	1	1	1	1	1
1 tour	3	1,5	1	—	—	1,5	—	0,5	—	—	—	1,5	4	4,5	1	1	1	1	1
POIDS EN GRAMMES																			
10 tours	66	45	40	34	37	111	64	38	74	37	142	88	172	85	85	37	31	24	24
5 tours	71	31	34	23,7	40	81	37	21	60	45	—	74	172	85	85	37	31	24	24
1 tour	57	28	28	—	—	57	—	7,1	—	—	—	57	172	85	85	37	31	24	24
ACCOUPLÉMENT MÉCANIQUE	Non			Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	4	8	8	8	8	8	8
PRIS INTÉRIEURS	Non			Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	10	20	15	11	10	10	10

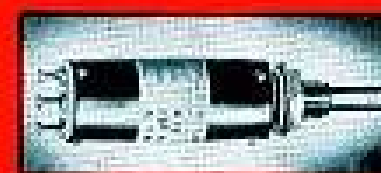
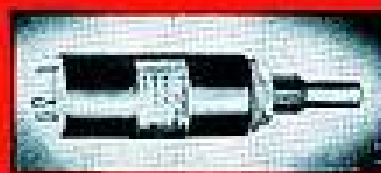
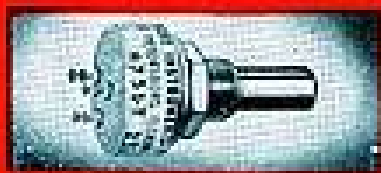
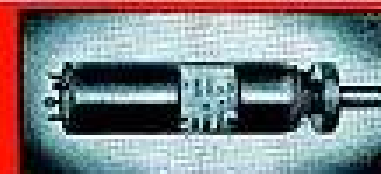
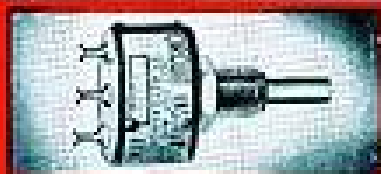
TYPE H — Dispositif d'arrêt breveté, commun à tous les potentiomètres I.R.C.

TYPE BB — Sur roulement à billes, faible couple, servomecc computer, etc.

TYPE SM — A encombrement réduit, bobine en fil d'alliage particulier.

TYPE WW — Résistance bobinée de très grande précision. Tolérance 1% à 0,05% de 0,1 ohm à 12 mégohms.

TYPE B — Très grande précision, faible couple, accouplement possible, 10 éléments.



TYPE H5 — Tropicalisé en atmosphère azoté, hermétique 100%.

TYPE MS — Étanchéité particulière à l'épreuve des poussières et moissures.

TYPE HT — Stable jusqu'à 150° de température ambiante.

TYPE CP — A embrayage magnétique d'axe.



INTERNATIONAL RESISTANCE Co.

DISTRIBUTEUR EXCLUSIF FRANCE & U.F.
RADIO ÉQUIPEMENTS
 PARIS-2° - TÉL. RIC. 49-88
 65, RUE DE RICHELIEU

Les bruits musicaux, ressemblent aux bruits réguliers, mais ils s'en distinguent par les caractéristiques suivantes :

- ils ont un très petit nombre de fréquences dominantes ;
- ils peuvent être attaqués à leur source.

Leur importance vient du fait que, par suite du développement de la technique, on les rencontre de plus en plus fréquemment dans les immeubles ou les locaux modernes.

La protection contre les bruits doit s'accompagner pour être complète d'une protection contre les trépidations.

On appelle trépidations, les vibrations de la structure solide dans laquelle est construite le local à protéger.

Les trépidations sont dues :

- soit à un choc violent (*impact*) contre une paroi solide ;
- soit aux ébranlements plus ou moins périodiques provoqués par le roulement d'un véhicule lourd ou le mouvement d'une machine.

Une partie de l'énergie transmise est rayonnée dans l'air par la structure et devient cause d'un bruit ;

une autre partie atteint directement le corps humain (ou le microphone) en suivant un trajet non aérien : c'est la trépidation proprement dite, dont l'effet physiologique peut être aussi important que celui du bruit.

1.1.2. — NIVEAU DE BRUIT.

0. On sait qu'un son quelconque se caractérise physiologiquement par 3 propriétés :

- son intensité (on dit qu'il est plus ou moins fort) ou niveau ;
- sa hauteur (on dit qu'il est plus ou moins grave ou plus ou moins aigu) ;
- son timbre, propriété beaucoup plus vague que les précédentes, et d'origine sans doute beaucoup plus complexe, qui grossièrement, traduit l'impression subjective plus ou moins agréable que produit le son.

On a pu constater facilement que les sons ayant pour substrat physique une onde sinusoïdale ont tous sensiblement le même timbre : cette remarque a conduit les physiiciens à prendre ces sons sinusoïdaux appelés tons purs comme éléments de référence.

Un ton pur étant donné, on constate également très facilement que l'effet d'intensité est lié — de façon presque exclusive — à l'amplitude et l'effet de hauteur à la fréquence de la sinusoïde de base. D'où l'idée de chercher une relation entre ces éléments physiques et physiologiques pour définir des unités d'intensité et de hauteur.

1. Il est d'usage de représenter un ton pur graphiquement par un point dont les coordonnées sont,

exprimées en hertz et en watts, la fréquence et l'amplitude (énergétique) de la sinusoïde de base (fig. 1).

L'ensemble des tons purs perceptibles, est représenté par une zone compacte du plan des coordonnées appelée champ d'audition ou champ d'audibilité.

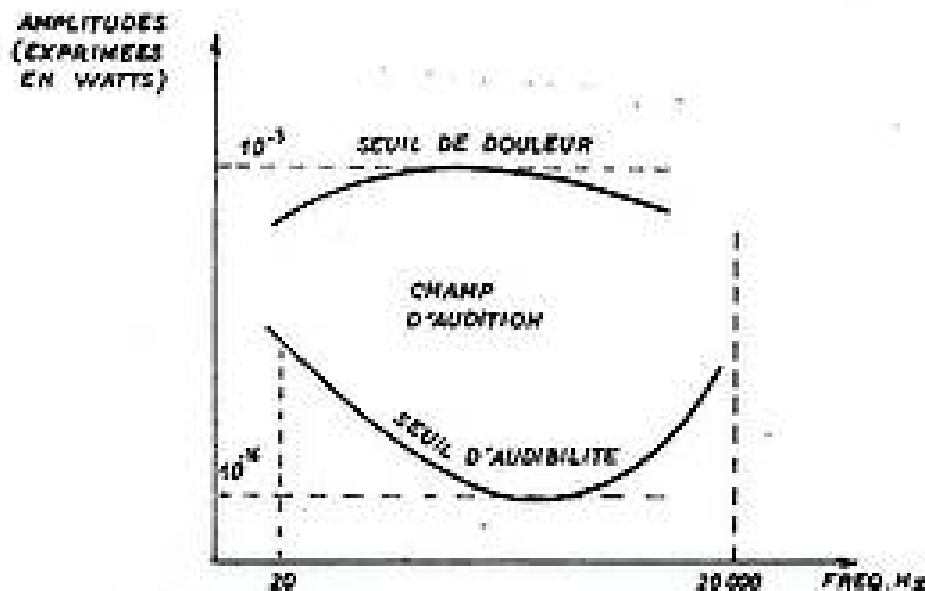


FIG. 1

Ce champ est borné par les deux seuils dits d'audibilité et de douleur, d'ailleurs assez mal déterminés, notamment pour les fréquences les plus graves et pour les fréquences les plus aiguës.

2. Le champ d'audition n'est pas homogène : on s'en rend compte, en mesurant en chaque point ce qu'on appelle les seuils différentiels.

Soit M le point représentatif du ton pur (P, N) (fig. 2).

On appelle seuil différentiel d'intensité, l'accroissement minimum relatif de la puissance (à fréquence

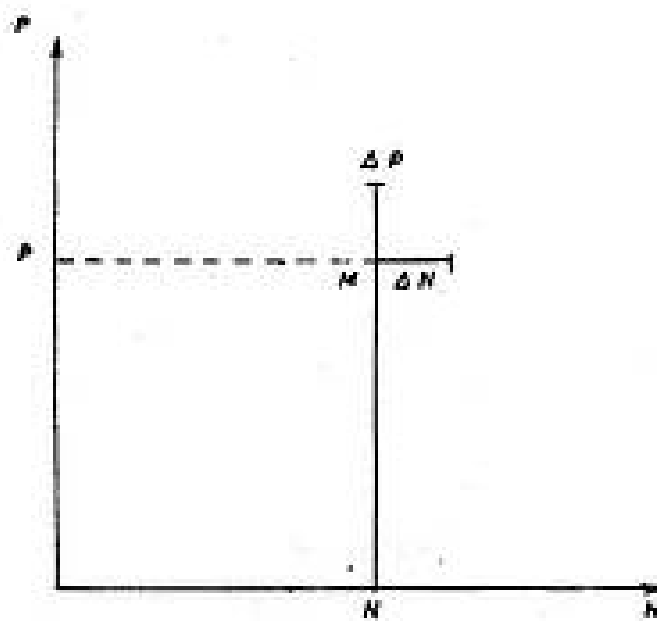


FIG. 2

constante), à partir de laquelle l'oreille aura l'impression d'un changement d'intensité.

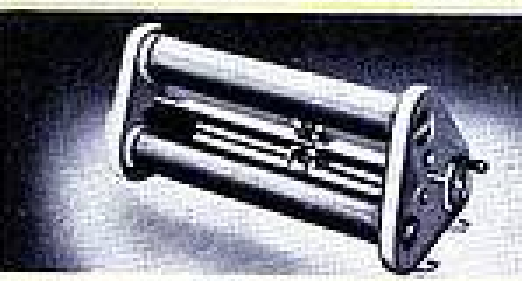
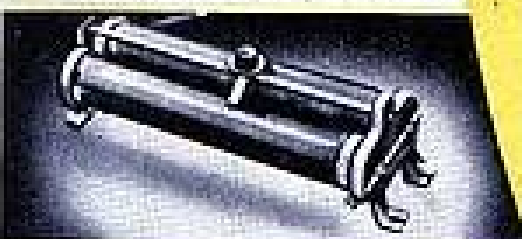
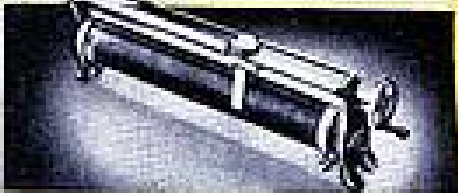
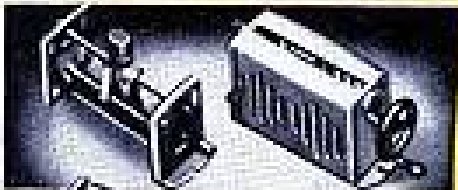
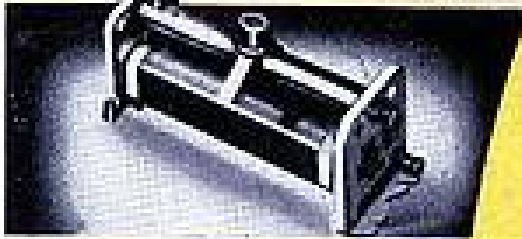
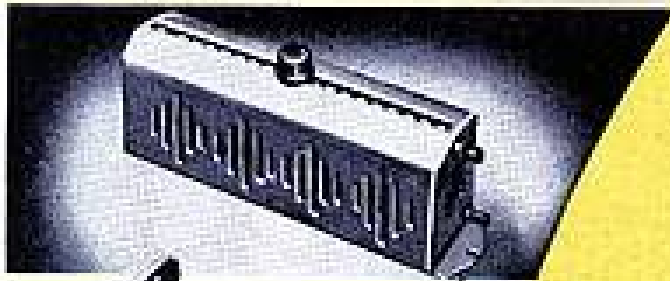
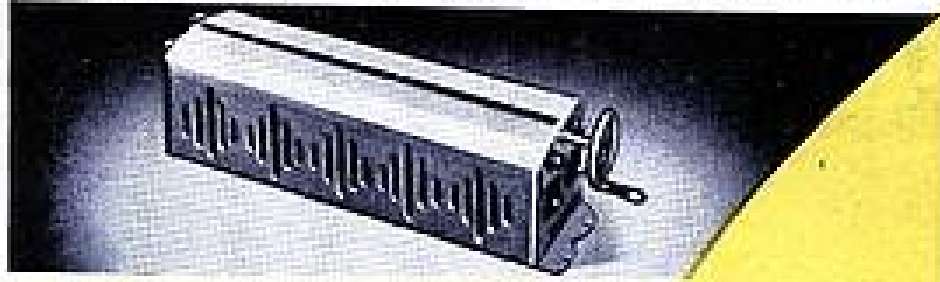
Soit $\frac{\Delta P}{P}$

On définit de même un seuil différentiel de hauteur $\frac{\Delta N}{N}$.

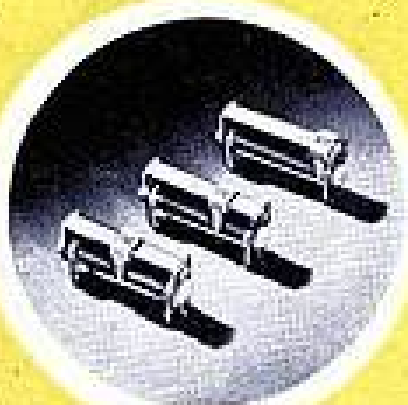
Ces 2 seuils sont des fonctions de P et de N .

Rhéostats INDUSTRIELS

DE 90 A 6920 watts



A
VARIATION
LINÉAIRE



Sont exécutés à la demande avec commande à main par bouton curseur ou à vis manivelle. Rhéostats à section croissante, sur demande.

At. Demain

SAFCO-TRÉVOUX

S

*délais
rigoureusement
tenus*

40, RUE DE LA JUSTICE, PARIS-20^e. MEN. 94-20

POUR L'ANALYSE DES CIRCUITS
AMPLIFICATEURS A LARGE BANDE

2 appareils de base

LE GENERATEUR PHILIPS D'IMPULSIONS GM 2314



- Fréquence de récurrence : 15 c./s. à 200.000 c/s.
- Largeur d'impulsions : 0,75 μ s à 60 % du temps de récurrence.
- Temps de montée \leq 0,1 μ s.
- Impulsions positives ou négatives.
- Tension de sortie maximum : 80 V en symétrique.
- Possibilité de sortir simultanément des tops de synchronisation, des impulsions de largeur variable, des signaux carrés.

LE GENERATEUR PHILIPS DE SIGNAUX RECTANGULAIRES GM 2324



- Gamme de fréquence 25 c/s à 1 Mc/s
- Déclenchement par oscillateur incorporé ou signal extérieur.
- Temps de montée : \leq 25 millimicrosecondes.
- Temps de descente : \leq 55 millimicrosecondes.
- Tension de sortie variable, réglable par plots de 100 mV c. à c. à 15 V c. à c.
- Possibilité de prélever des impulsions de synchronisation.

Demandez notre documentation N° 575 A

PHILIPS-INDUSTRIE

105, R. DE PARIS, BOBIGNY (Seine) - Tél. VILLETTE 28-33 (lignes groupées)

REVUE 11800

Il est *fondamental* de constater que dans une vaste zone intérieure au champ d'audition (dite *zone centrale d'audition*), (fig. 3).

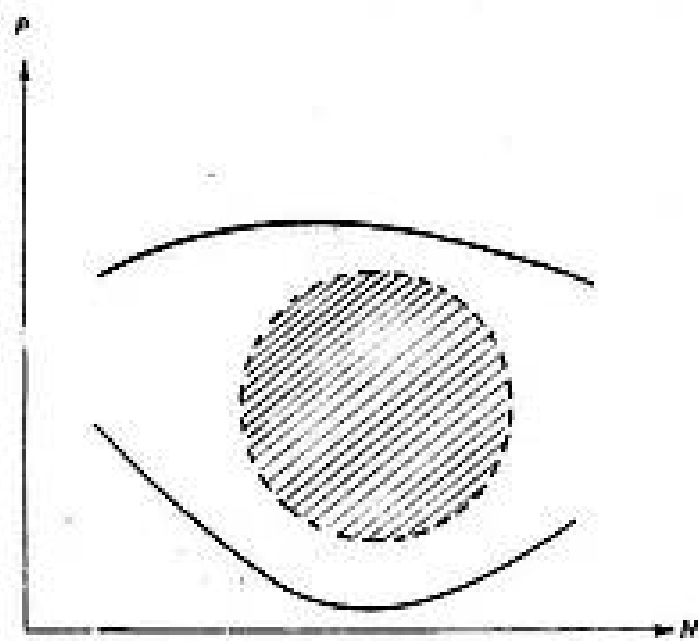


FIG. 3

$\frac{\Delta P}{P}$ d'une part ;

$\frac{\Delta N}{N}$ d'autre part.

sont sensiblement *constants*

$$\left(\frac{\Delta P}{P} \simeq 10 \% - \frac{\Delta N}{N} \simeq 0.3 \% \right).$$

Mais il n'en est plus de même hors de cette zone centrale à partir des limites de laquelle les deux seuils augmentent régulièrement — exprimant ainsi une *moindre sensibilité* de l'oreille sur les bords du champ d'audition.

3. La constance de $\frac{\Delta P}{P}$ et de $\frac{\Delta N}{N}$ dans la zone centrale ne traduit rien autre chose que la loi de WEBER-FECHNER : la *sensation est proportionnelle au logarithme de l'excitation*.

Une simple intégration nous donne, en effet, les relations physique-physiologique :

$$I - I_0 = \log \frac{P}{P_0} \quad \text{et} \quad H - H_0 = \log \frac{N}{N_0}$$

Ces relations sont de *simples échelles* qui n'expriment que des variations *relatives* tant d'intensité *I* que de hauteur *H*.

Pour définir parfaitement ces qualités, il faut déterminer :

— la valeur du zéro : on prend $I = 0$ quand $P = 10^{-12}$ watts (qui est sensiblement le seuil d'audibilité à la fréquence 1 000 hertz)

on prend $H = 0$ quand $N = 440$ hertz (la_2)

— la base du logarithme : on prend dans les 2 cas (pour des raisons pratiques) la base 10, ce qui donne les unités suivantes :

$$\left\{ \begin{aligned} I \text{ décibels} &= 10 \log_{10} \left(\frac{P}{10^{-12}} \right) \text{ watts} \\ H \text{ savarts} &= 1\,000 \log_{10} \left(\frac{N}{440} \right) \text{ hertz} \end{aligned} \right.$$

Remarque : Lorsque l'onde est *plane* ce qui est toujours sensiblement vrai au voisinage du tympan : $P = K p^2$ (p amplitude de pression de l'onde sonore).

La formule précédente prend la forme nouvelle :

$$I \text{ décibels} = 20 \log_{10} \left(\frac{p}{2 \times 10^{-4}} \right) \text{ barye.}$$

2×10^{-4} barye étant sensiblement la pression de l'onde acoustique au seuil d'audibilité, à la fréquence 1 000 hertz.

1. Le *décibel* est une unité dite *d'intensité physique*, car elle est liée trop mathématiquement à la *puissance*, qualité physique de l'onde sonore, pour traduire parfaitement les effets strictement physiologiques d'intensité.

En fait, on peut penser qu'elle donne des résultats sensiblement exacts dans la zone centrale d'audition et qu'elle s'en écarte de plus en plus à mesure qu'on approche des limites du champ d'audition.

FLETCHER et MUNSON ont eu l'idée de chercher par approximations successives, les courbes d'*égale sensation d'intensité* (sous-entendu « quelle que soit la fréquence »).

Ces courbes, particulièrement célèbres (elles constituent l'élément de travail de base de tous les Acousticiens) ont été *numérotées* en supposant qu'à la

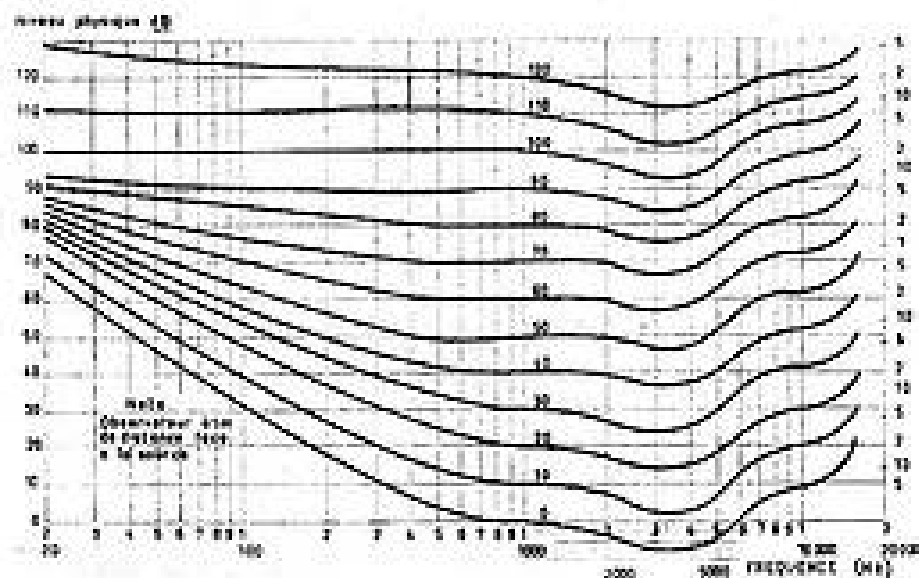


FIG. 4

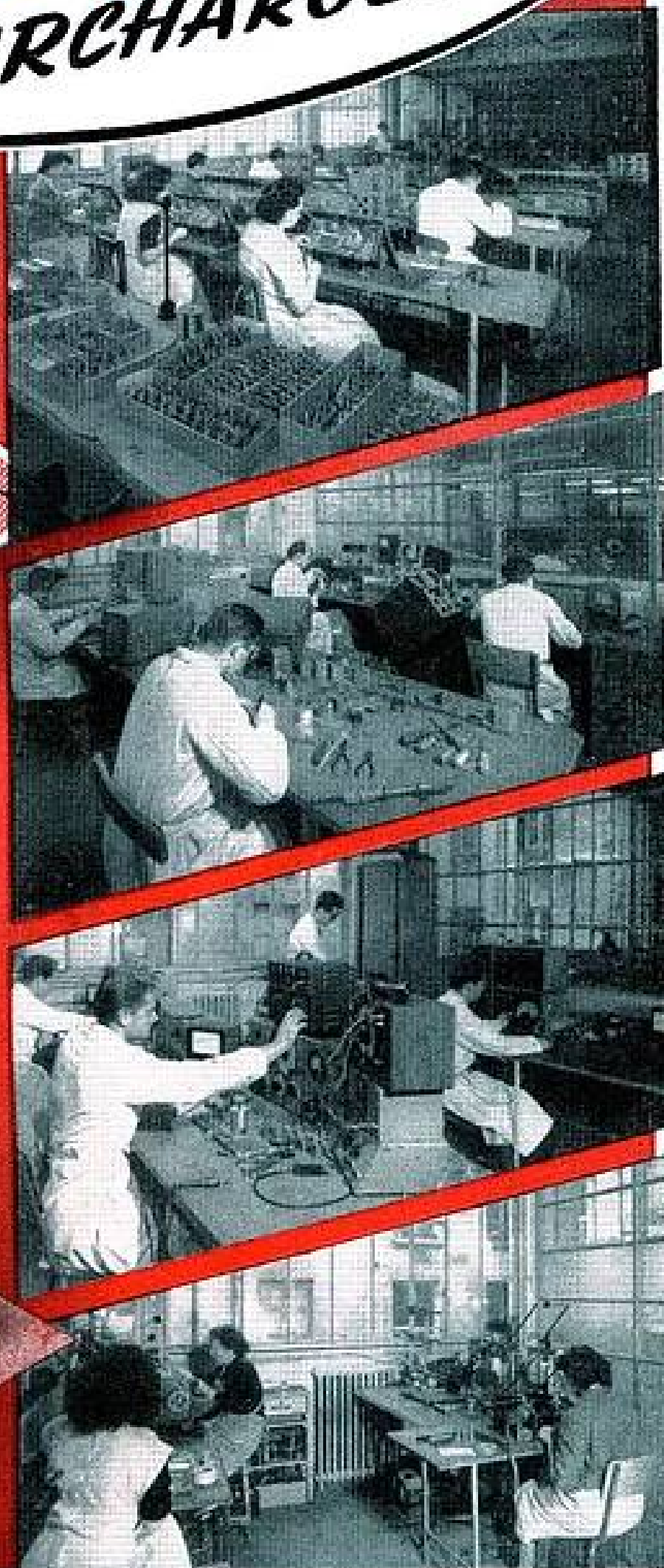
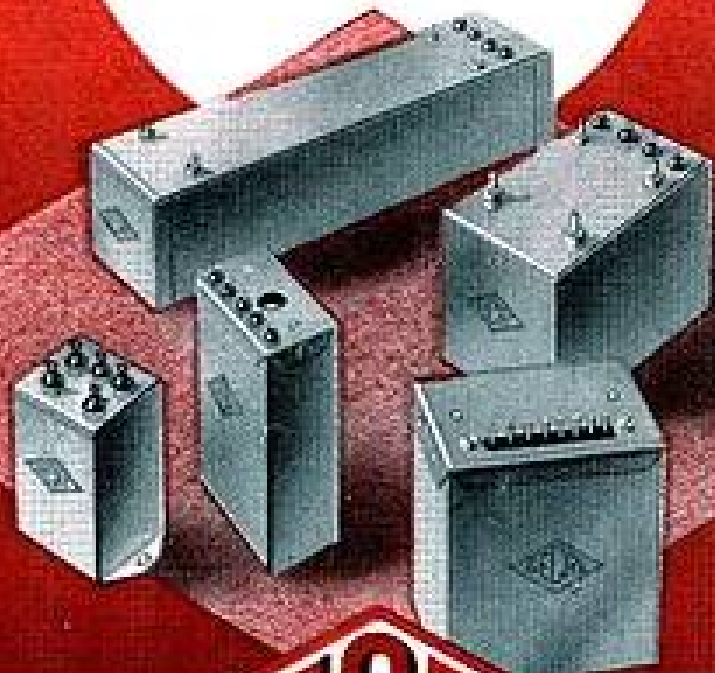


DÉLIVREZ
Vos ingénieurs
SURCHARGÉS...

LE *problème*
DES FILTRES
est notre spécialité

★

B.F. - M.F. - Haute
fréquence à bande
étroite ou à large
bande, passe-bas,
passe-haut, passe-
bande, coupe-bande



SOCIÉTÉ
NORD 29-57

SECRE

D'ÉTUDES ET DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRONIQUES
214-216, FAUBOURG SAINT-MARTIN - PARIS X^e

Agence DOMENACH

fréquence 1 000 hertz, l'intensité de sensation s'exprimait par le même nombre que l'intensité physique, exprimée en décibels (fig. 4).

L'unité de sensation d'intensité ainsi définie a reçu le nom de *phone*.

On dit qu'un ton pur a une intensité physiologique de n phones quand il produit à l'oreille la même sensation d'intensité qu'un ton pur de fréquence 1 000 hertz et d'intensité physique n décibels.

Les courbes de FLETCHER mettent en évidence les propriétés suivantes de l'oreille :

— sauf aux intensités très élevées (où, sensiblement droites, elles expriment que l'oreille est pareillement sensible à toutes les fréquences), l'oreille est moins sensible aux fréquences graves qu'aux fréquences aiguës ;

— pour un même affaiblissement des niveaux physiques, les niveaux physiologiques seront plus affaiblis dans le grave que dans l'aigu.

Nous n'insisterons pas sur les incidences considérables de cette loi expérimentale, notamment dans le domaine de la prise de son.

5. Les courbes de FLETCHER sont établies en supposant qu'à la fréquence 1 000 hertz :

niveau physiologique = niveau physique.

C'est évidemment faux, surtout au voisinage des seuils.

L'École américaine (FLETCHER) a été conduite à définir une nouvelle unité, le *son*, traduisant, même pour la fréquence 1 000, la moindre sensibilité de l'oreille aux niveaux extrêmes.

La courbe ci-contre (fig. 5) sur l'exactitude de laquelle il ne faut pas se faire trop d'illusions — donne la relation entre les unités physiologiques exprimées en phones et ce que nous appellerons les unités subjectives exprimées en *millisones*.

Par convention à 1 000 hertz, le niveau physiologique 40 phones correspond au niveau subjectif 1 000 *millisones*.

Dans l'état actuel de la technique, il semble que le *millisone* soit l'unité qui traduise le plus fidèlement les propriétés « d'intensité » de l'oreille.

6. Comment passer des intensités des tons purs aux intensités des sons complexes (bruits par exemple) ?

On utilise les mêmes unités.

Un bruit est dit avoir une intensité physiologique (ou subjective) de n phones (ou m *millisones*), s'il produit la même sensation d'intensité qu'un ton pur de 1 000 hertz et de niveau n phones (ou m *millisones*).

La définition ne donne malheureusement pas les moyens d'effectuer la comparaison : or celle-ci n'est vraiment possible que si la tonalité moyenne du bruit ne s'écarte pas trop de la fréquence de référence.

Aussi les méthodes de mesure de bruits sont-elles très diverses et donnent-elles des résultats parfois assez différents.

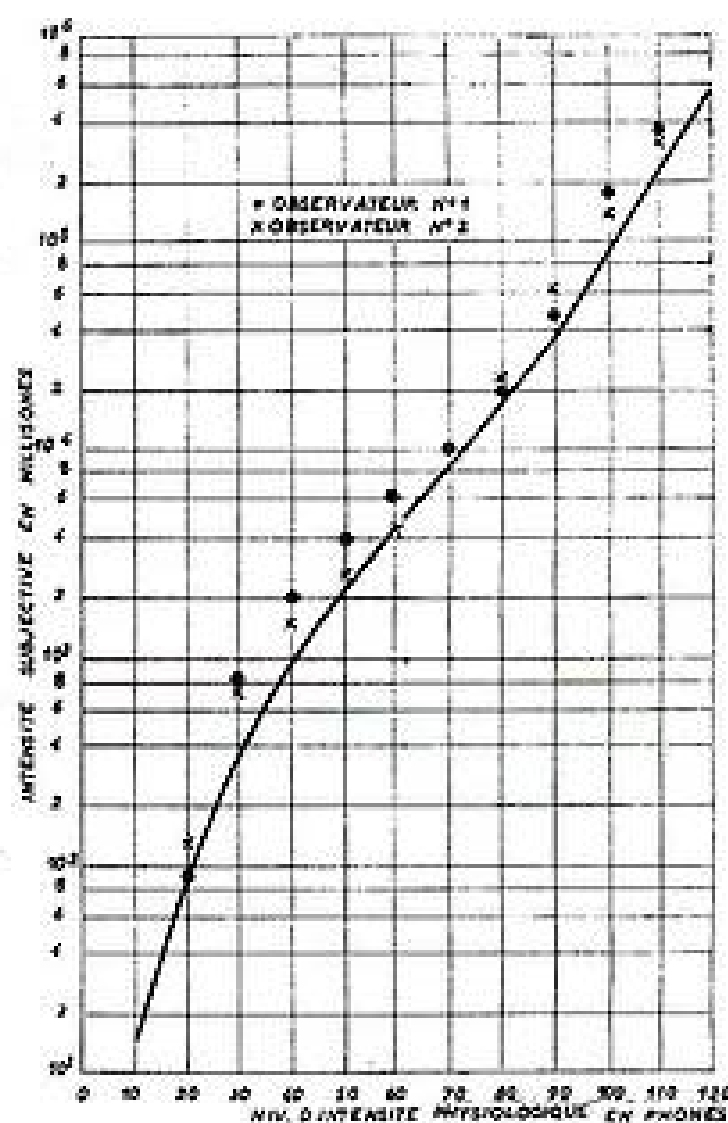


Fig. 5

7. On en connaît deux grands groupes :

- les méthodes *objectives* ;
- les méthodes *subjectives*.

A) Les méthodes *objectives* transforment, par l'intermédiaire d'un microphone, le bruit en tension électrique modulée.

Un voltmètre étalonné gradué en *décibels* permet de lire directement l'intensité cherchée.

L'ensemble s'appelle *barymètre*.

Inconvénients :

a) — Le système ne tient pas compte des variations de sensibilité de l'oreille avec la fréquence. On corrige ce défaut en intercalant un filtre dit *psophométrique* : l'appareil est alors gradué en *phones* et prend le nom de *sonomètre*.

b) — La variation de sensibilité de l'oreille avec la fréquence change avec le niveau du bruit : aussi doit-on utiliser plusieurs filtres psophométriques — en pratique 3 ou 4 — et en changer quand le niveau à mesurer change d'ordre de grandeur.

B) Les méthodes *subjectives* se divisent en deux :

1° Méthode de *comparaison* (dite de BARKHAUSEN). Un vibreur étalonné de fréquence 1 000 hertz donne à travers une ligne d'affaiblissement graduée et variable un niveau sonore connu dans un écouteur.

les radiotéléphones S. F. R.

V.H.F.

à modulation de phase

portatifs série M. F. 710

Pour postes portatifs.

Portée 2 à 15 km.

Alimentation par batterie rechargeable incorporée.

mobiles série M. F. 760

Pour voitures légères ou poste fixe.

Portée 20 à 50 km.

Alimentation à partir d'une batterie 6, 12 volts ou à partir du secteur.

Possibilité de liaison au réseau téléphonique.

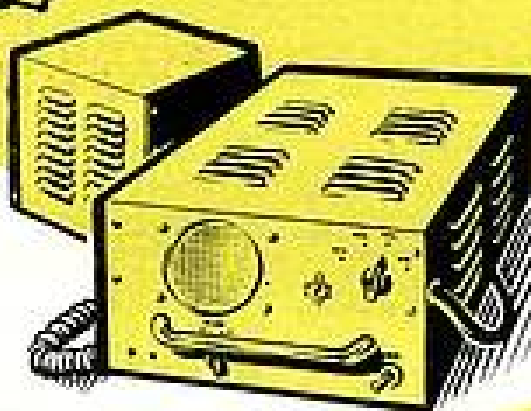


Poids et encombrement réduits.

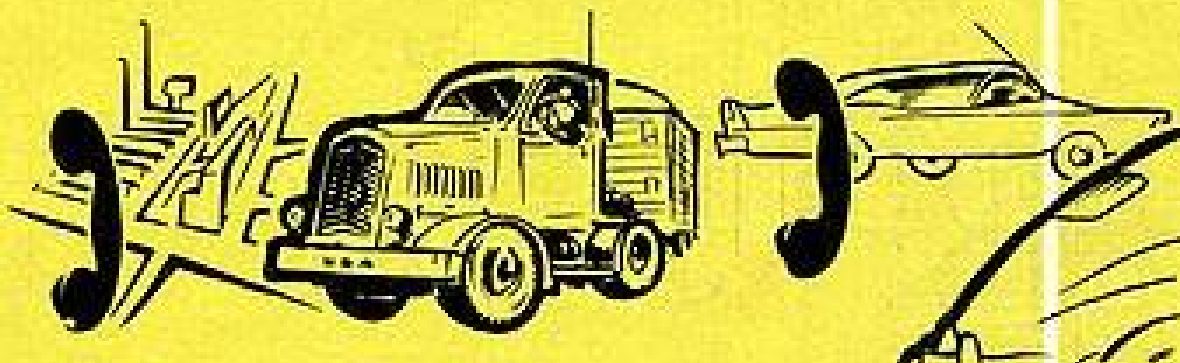
Faible consommation d'énergie.

Robustesse et simplicité d'exploitation.

Nombreux domaines d'applications.



M. F. 760 - Émetteur-récepteur : 25 x 19 x 13 cm.
Alimentation : 28 x 16 x 18 cm.



APPLICATIONS - Usines - Chantiers - Police - Pompiers - Transports automobiles - Exploitations agricoles, forestières, minières, pétrolières - Chemins de fer - Reportages - Escorte de convois, etc..., etc.



Société Française Radio-électrique

79, Bd HAUSSMANN, PARIS VIII - ANJOU 84-60

On le compare au bruit à mesurer, en écoutant l'un ou l'autre, *alternativement* : cette méthode est la plus proche de la définition.

Inconvénients :

a) — Comparaison très difficile quand la tonalité générale du bruit s'écarte beaucoup de 1 000 hertz. On emploie alors plusieurs opérateurs *entraînés* et l'on fait des *moyennes*.

b) — Ce procédé ne s'applique pas aux bruits brefs.

2^o Méthode du *masque*. Elle est basée sur la propriété suivante des oreilles : quand 2 sons de niveaux différents parviennent séparément à chaque oreille, l'auditeur ne perçoit que le *plus* intense, qui masque l'autre.

La méthode consiste à écouter *simultanément* le son étalon et le bruit et à faire varier le niveau de la fréquence de référence pour « encadrer » le bruit.

Inconvénients :

b) — Bien que plus précise que la méthode de comparaison, se prête mal à la mesure des niveaux des bruits dont la tonalité générale s'écarte de 1 000 hertz.

a) — Ne s'applique pas aux bruits brefs.

3. La mesure des *trépidations* s'effectue à l'aide d'un pendule dit d'*inertie* de masse m fixé à un boîtier par l'intermédiaire d'un ressort de raideur c et d'un système à frottement b (fig. 6).

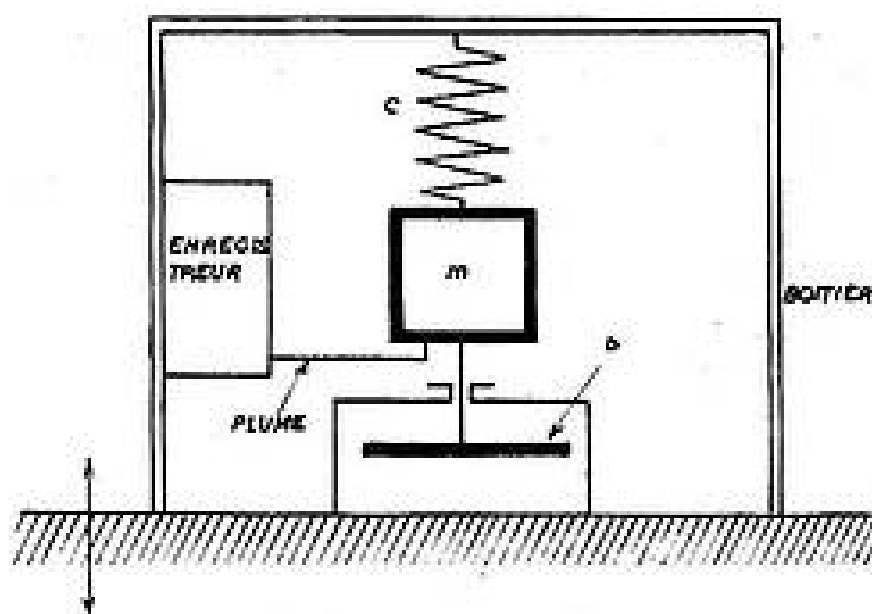


FIG. 6

Le pendule trace son mouvement sur un enregistreur solidaire du boîtier.

On se sert de l'appareil en posant le boîtier sur le sol en mouvement et on mesure l'amplitude des vibrations enregistrées.

On démontre facilement :

a) que si le pendule est *lourd* et la raideur du ressort *faible*, l'amplitude des vibrations enregistrées

est proportionnelle à celle des vibrations du sol ; on a un *sislographe* (inutilisable en raison de son poids — plusieurs tonnes — en Acoustique) ;

b) que si le pendule est *léger* et le ressort *raide*, l'amplitude enregistrée est proportionnelle à celle de l'*accélération* de la trépidation (*accélérographe*).

Comme les vibrations sont trop faibles pour être facilement lisibles, on fait comprimer par le pendule des quartz qui donnent un courant électrique permettant de mesurer facilement l'*amplitude* de la *trépidation*.

1.1.3. — ANALYSE DES BRUITS.

0. La connaissance du niveau d'un bruit n'est pas suffisante pour déterminer *pratiquement* les mesures à prendre pour l'isoler.

Il faut l'*analyser*, c'est-à-dire déterminer les fréquences *dominantes*.

1. Le principe général consiste à transformer le bruit dans *tous* les cas en *tension* électrique par l'intermédiaire d'un microphone étalonné et à analyser cette tension :

a) Si le *bruit* est *soutenu*, on branche le microphone à un voltmètre par l'intermédiaire d'un *circuit self-capacité* variable et on détermine les positions des selfs et des capacités donnant les déviations maxima du voltmètre.

On peut aussi *moduler* la tension-bruit au moyen d'une tension émise par un *générateur étalonné* à fréquence variable et alimenter ainsi un voltmètre à travers un circuit résonnant *fixe* : on lit les fréquences du générateur qui donnent les déviations maxima du voltmètre.

b) Si le *bruit* est *bref*, on peut l'*enregistrer* sur film et lui appliquer une des méthodes précédentes.

c) Dans tous les cas, il est recommandé, si l'on possède cet appareil remarquable, d'utiliser un *spectromètre* de SIEMENS.

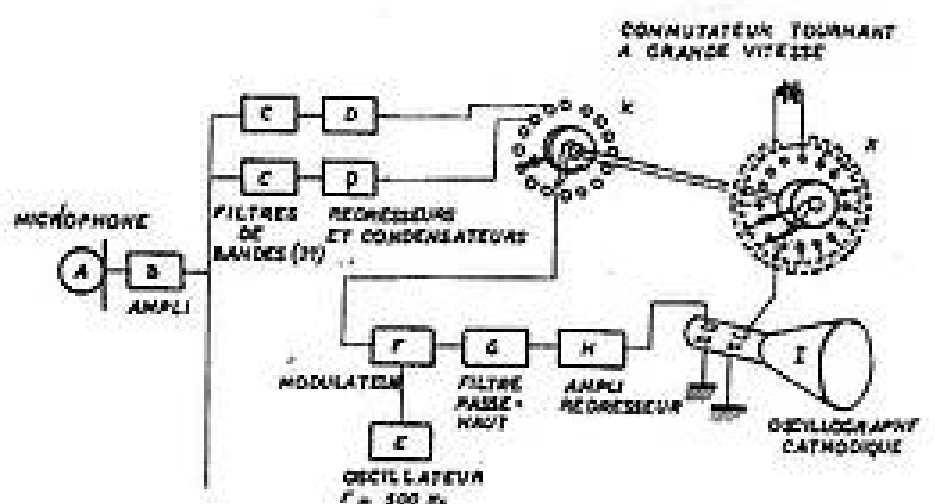


FIG. 7

L'appareil comporte 27 filtres électriques reliés en permanence au microphone ; ces filtres ont chacun une bande passante de $1/3$ d'octave et l'ensemble couvre pratiquement la gamme des sons audibles.

APPAREILS ÉLECTRIQUES DE MESURE



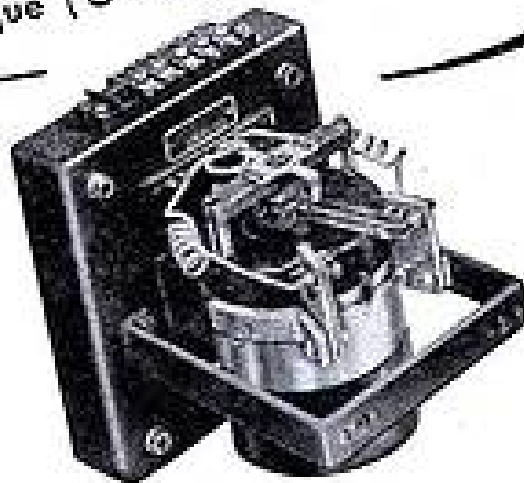
APPAREILS ÉTANCHES ANTICHOCS

Microampèremètres depuis $2\mu\text{A}$
Millivoltmètres dep. 1mV (sur cadre)
Ampèremètres - Voltmètres, etc...

APPAREILS SPÉCIAUX SUR DEMANDE

RELAIS GALVANOMÉTRIQUES DE SÉCURITÉ

Courant de commande depuis $3\mu\text{A}$
à minimum et maximum
symétrique (0 central)
différentiel
régulateur



ALBERT LE BŒUF & FILS

194 RUE DES GROS-GRÈS . COLOMBES . CHA.56-03+

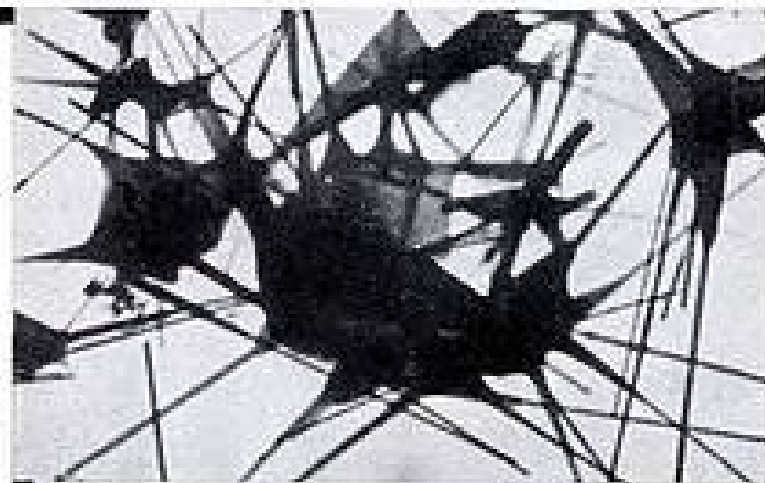
vient de paraître

TOME II DE L'ENCYCLOPÉDIE FRANÇAISE (FONDATEUR : ANATOLE DE MONZIE)
Président du comité de rédaction : Lucien Febvre.
Directeur : Gaston Berger, Directeur Général de l'Enseignement supérieur, tous deux Membre de l'Institut.

LA PHYSIQUE

sous la direction de Louis de Broglie, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences, Membre de l'Académie Française, Prix Nobel de Physique.

Outre une abondante contribution personnelle, l'illustre savant a orienté le volume, il en a fixé le plan, il en a animé la rédaction. Il a choisi ses collaborateurs parmi les maîtres les mieux qualifiés : Mme Irène Joliot-Curie, MM. Bauer, Cabannès, Chazy, E. Darmais, G. Darmais, Dupouy, F. Joliot, Mauguin, Néel, Pérard, F. Perrin, Ribaud et plus de trente autres physiciens français d'aujourd'hui. De tels noms garantissent la haute qualité de l'ouvrage. Le lecteur y trouvera consignés en leur état le plus récent, les progrès d'une science dont l'importance grandit sans cesse. Ces données neuves sont présentées, non comme un ouvrage de vulgarisation qui trahit trop souvent les auteurs originaux, mais comme un ensemble de synthèse, cherchant à « recomposer l'harmonie interne de notre monde ».



Un volume, reliure mobile rouge ou verte : format 26×31 cm, 508 pages très illustrées, 16 planches hors texte, 240 figures dans le texte, 16 pages d'index : 7 500 F taxe locale incluse.

Grandes facilités de paiement.
Renseignements et prospectus-spécimen chez les libraires et 114 bd Raspail, Paris 6

LAROUSSE

dépositaire général

Les tensions correspondantes redressées sont explorées par un commutateur à 27 plots tournant à grande vitesse (30 t/mn) et envoyées ainsi chacune à leur tour sur deux des plaques d'un oscillographe cathodique.

L'autre paire de plaques est reliée à une source de tension qui varie par bonds au moyen du même commutateur.

L'appareil permet de lire directement sur l'écran le spectre de fréquences instantané du bruit — de le photographier ou de le cinématographier.

2. La connaissance des niveaux du bruit par bandes étroites de fréquences permet de tracer une courbe « Niveau - Fréquence » qui définit le son mesuré avec une précision d'autant plus grande que les bandes de fréquence séparées sont plus fines (fig. 8).

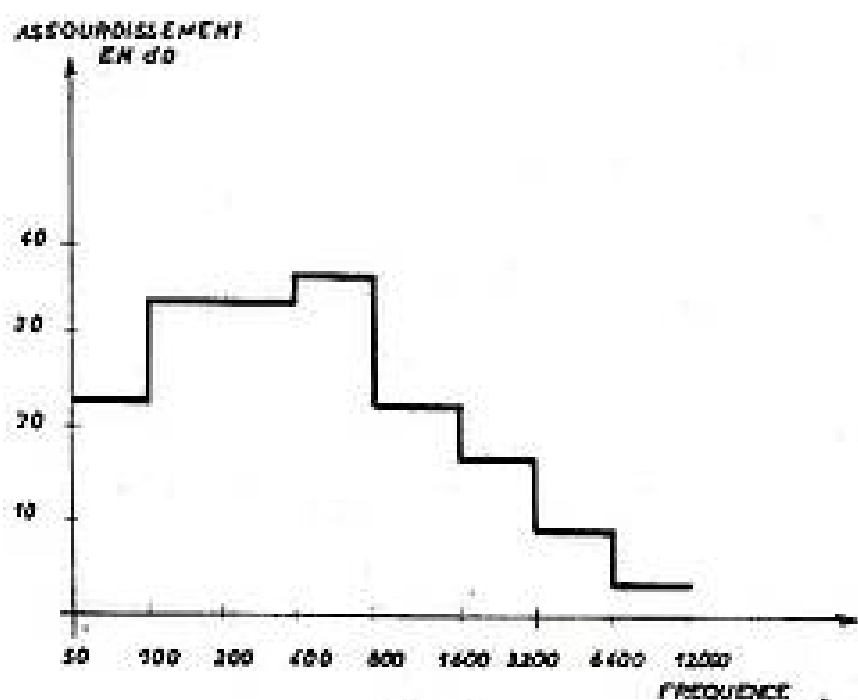


Fig. 8

Le spectromètre de SIEMENS donne directement cette courbe, dite d'assourdissement.

1.1.4. — EFFET PHYSIOLOGIQUE.

0. L'effet physiologique provoqué par un bruit dépend d'une multitude d'éléments dont certains ont un caractère assez subjectif.

Les études effectuées dans ce domaine paraissent très insuffisantes.

1. Une série d'essais très anciens de WRIGHT et LANE constitue notre acquis le plus solide en la matière. Ces essais ne concernent que l'action des tons purs sur les tons purs : on voit par là comme ils sont incomplets.

Ils visent à rechercher ce qu'on appelle le niveau de masque d'un bruit, niveau dont il faut augmenter le niveau du son masqué pour qu'il ait la même intensité physiologique qu'en l'absence du bruit (de masque), dont la fréquence et les niveaux (20-40-60-80-100) sont inscrits sur chaque graphique.

On tire du réseau de courbes obtenu (fig. 9) les lois suivantes :

a) L'effet de masque est maximum pour les fréquences voisines de celles du son masquant :

b) L'effet de masque est négligeable tant que le niveau du masque est faible :

c) L'effet de masque croît beaucoup plus vite que le niveau du son masquant.

d) L'effet de masque est surtout sensible sur les fréquences plus aiguës que celles du son masquant :

e) L'effet de masque des fréquences graves sur les aiguës est beaucoup plus fort que l'effet inverse.

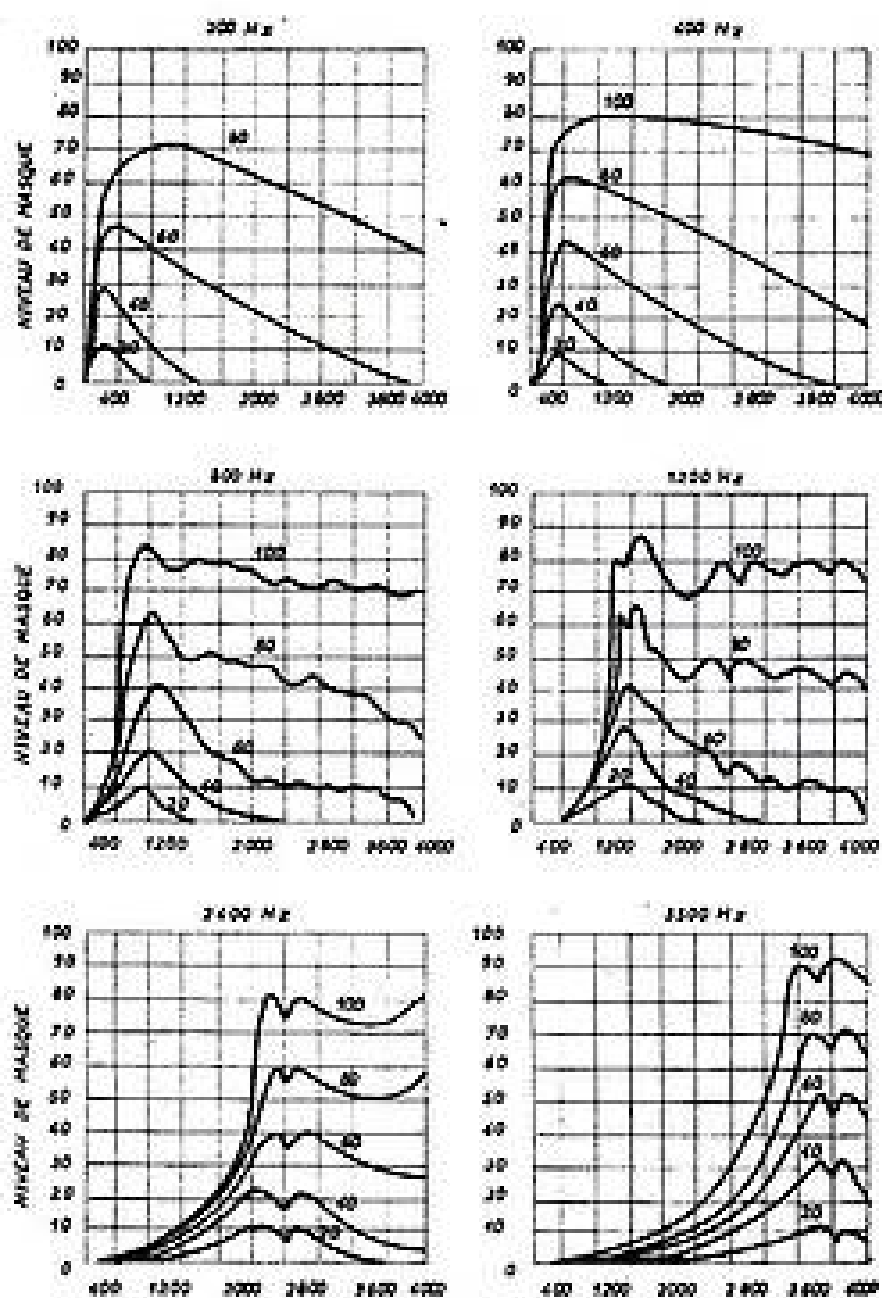


Fig. 9

On en déduit que :

- les fréquences graves sont les plus gênantes ;
- les fréquences aiguës sont les plus gênées ;
- par suite des coïncidences de fréquences, ce sont les bruits de même nature qui se gênent le plus, mutuellement.

2. L'effet de gêne causé par les bruits peut dépendre beaucoup de notre faculté de concentration auditive sur le son utile, ce qu'on appelle « l'écoute intelligente ».

Il n'existe pas assez de données sur cette question pour que nous puissions valablement la développer.

1.2. — L'isolement phonique.

1.2.1. — DÉFINITION.

0. On distingue deux définitions *entièrement différentes* de l'isolement phonique.

1. La première concerne une *paroi supposée infiniment étendue*.

On appelle *coefficient de transmission* (transmissivity) τ le rapport de la puissance sonore transmise à la puissance incidente :

$$\tau = \frac{I_2}{I_1}$$

I_1 et I_2 étant les puissances de part et d'autre de la paroi.

On appelle *affaiblissement de transmission* (transmission loss) T_L la différence des niveaux sonores de part et d'autre de la paroi :

$$T_L = (L_2 - L_1) \text{ phones}$$

On a évidemment :

$$T_L = 10 \log_{10} \frac{1}{\tau}$$

2. La seconde concerne la transmission d'un local à un autre.

On appelle *facteur de réduction de bruit* le rapport logarithmique exprimé en décibels des densités d'énergie dans les deux salles, dont l'une est supposée productrice du bruit.

$$R_F = 10 \log_{10} \frac{E_1}{E_2}$$

3. Il n'y a *aucun rapport simple* entre T_L (ou τ) et R_F .

Pourtant la connaissance de ces deux coefficients présente le même degré d'importance pour l'Acousticien.

R_F (qui est ce qu'on appelle dans la pratique courante *l'isolement acoustique*), c'est le nombre que l'on se donne *a priori* — le chiffre que l'on désire réaliser. Mais pour l'obtenir, il faut se servir, *entre autres éléments*, des T_L : c'est en effet en jouant sur les *isolations propres* des cloisons, en choisissant celles qui ont le coefficient de transmission convenable, qu'on peut obtenir *l'isolement global* cherché.

Mais il y a plus, si le R_F mesuré est inférieur au R_F souhaité, comment l'améliorer, sinon en augmentant la qualité acoustique, c'est-à-dire le T_L des cloisons ?

D'où l'intérêt de posséder — *pour chaque type de mur ou de cloison* — un tableau général des T_L permettant à l'acousticien de choisir, compte tenu des éléments techniques et financiers du problème qui lui est posé.

4. Tout ceci serait parfait, s'il était effectivement possible de définir, pour un type de cloison donné un *coefficient de transmission* ayant un sens.

Or, l'étude de la transmission du son à travers les parois, d'ailleurs très ardue (nous en donnerons quelques idées au § 1.3.2), met en évidence le fait que les conditions de vibration d'une cloison sont telles que le *coefficient de transmission* varie — et dans des proportions importantes — avec :

- les *dimensions* et la *forme* de la paroi ;
- la façon dont est *fixée* cette paroi ;
- la direction la plus probable de l'*onde sonore incidente*.

Il n'y a donc pas un *mais des coefficients* de transmission *par nature même*. Pour un même type de paroi, ces coefficients peuvent différer de *plusieurs décibels* (jusqu'à 5 ou 6) — et, circonstance aggravante, cette différence *change d'importante façon* avec la fréquence — elle peut même changer de signe.

Tout ce qu'on peut faire en *pratique*, c'est, après avoir étudié quelques *modes réels* couramment employés de *fixation de parois*, définir des *normes de mesure* qui doivent permettre, toutes choses égales d'ailleurs, de *comparer des qualités de parois de même surface* et de *même fixation*.

Encore ne sera-t-on jamais sûr, en extrapolant à de plus grandes dimensions, de trouver les mêmes variations avec la fréquence (on sera même à peu près sûr du contraire).

5. Les difficultés relatives à la mesure de R_F sont différentes de nature, mais presque aussi importantes. Elles tiennent à deux causes :

— d'une part, il existe en permanence dans chacun des deux locaux entre lesquels on veut mesurer le facteur de réduction de bruit, des sons « parasites », des bruits de fond d'origines diverses et qui n'ont entre eux — s'ils en ont — que de très vagues rapports : étant donné le mécanisme compliqué d'addition des bruits et le caractère aléatoire de ces parasites, il est très difficile d'en tenir compte dans la mesure, et pourtant à peu près impossible de les négliger, principalement dans le local où le niveau global est le plus faible (local de réception) ;

le moyen le plus efficace consiste à utiliser, pour la mesure, des *niveaux de bruits* extraordinairement élevés, une véritable *canonade acoustique*, dépassant par exemple le seuil de douleur ; le Service des Bâtiments de la Radiodiffusion-Télévision française s'est penché tout particulièrement sur ce problème difficile qu'il paraît avoir en partie résolu ;

— d'autre part, R_F dépend non seulement de *tout ce qu'il y a* entre les locaux à mesurer, mais également et dans une *importante proportion* des caractéristiques *internes* du local de réception. Si celui-ci est très étouffé, la transmission est moins forte que s'il est résonnant.

En changeant la *qualité interne* d'un local, on modifie son *isolement*.

PRÉCISION
QUALITÉ
ROBUSTESSE



magnétoélectriques pour courant continu, magnétoélectriques à redresseur, ou ferromagnétiques pour courant alternatif

★ **AMPÈREMÈTRES** de 50 μ A à 1.500 Amp.

★ **VOLTMÈTRES** de 10 mV à 5.000 V

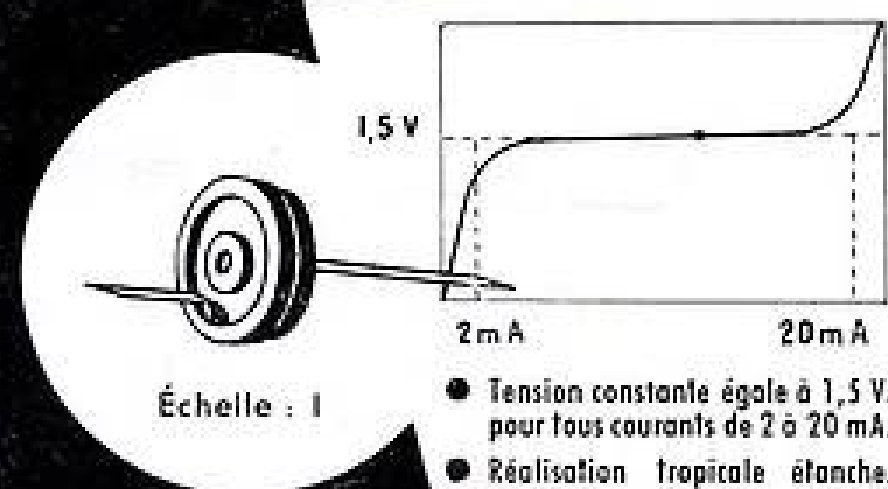
encombrement et fixation normalisés, conformes aux normes UTE fascicule C 28.

NOTICE T. 155 sur demande ANNÉCY B. P. 30

METRIX

C^e GÉNÉRALE DE MÉTROLOGIE ANNECY FRANCE

STABILISATEUR DE TENSION
CELLULE DE POLARISATION
Gautrat "TYPE 15 BC"



Échelle : 1

- Tension constante égale à 1,5 V. pour tous courants de 2 à 20 mA.
- Réalisation tropicale étanche.
- Faible poids : 3 gr.
- Faible encombrement : $\varnothing = 15$ mm, épaisseur = 5 mm.
- Fréquences d'utilisation : jusqu'à 10 mégacycles.

LE

41, avenue Émile-Zola
MONTREUIL-s/-BOIS - AVR. 39-20+

Le **UGON 2**
BREVETÉ S.G.D.G.



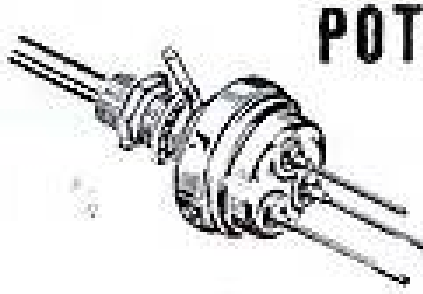
RELAIS SUBMINIATURE

- SENSIBILITÉ 2 milliwatts
- POUVOIR DE COUPURE 24 V. - 0,5 A
- TROPICALISÉ (soudures métal-verre)
- MONTAGE A VOLONTÉ sur support subminiature rond normal ou fils à souder
- H. F. 0,7 PF 1

LE PROTOTYPE MÉCANIQUE
16 Bis RUE GEORGES PITARD - PARIS (15^e) - V.A.U. 38.03

POTENTIOMÈTRES

- GRAPHITÉS OU BOBINÉS
- ÉTANCHES OU STANDARDS
- A PISTE MOULÉE



Variohm XX

Rue Charles-Vapereau, RUEIL-MALMAISON (S.-S.-O.) - Tél. MAL. 24-54
Publ. RAPPY

Les numéros de Mars 1955 et Mars 1956 de

L'ONDE ÉLECTRIQUE

constituent une somme de

la technologie des pièces détachées radioélectriques modernes

Prix exceptionnel pour ces 2 numéros : 800 F.

ÉDITIONS CHIRON, 40, rue de Seine
PARIS-6^e — C.C.P. Paris 53-35

Propriété bien connue : elle permet d'améliorer cet isolement en revêtant les parois de produits absorbants le son — sans toucher aux structures de la construction.

6. Dans le cas très particulier où l'on a 2 locaux séparés par une paroi de telle sorte que tous les sons passant de l'un à l'autre par un autre moyen de transmission que la paroi sont négligeables, on peut calculer une relation entre le R_F et le T_L de la paroi.

$$\text{On trouve : } R_F = T_L + 10 \log_{10} \frac{S}{A} \quad \text{en décibels}$$

S étant la surface de la paroi ;

A étant l'absorption totale du local de réception (que nous définirons ultérieurement § 2.2.1.4).

1.2.2. — MESURE DES ISOLEMENTS.

0. Nous n'insisterons pas sur les méthodes de mesure employées qui, en ce qui concerne l'affaiblissement de transmission, sont actuellement dépassées et font l'objet de nouvelles études.

1. La mesure de R_F se fait à l'aide de sonomètres ; elle n'a de réelle valeur que si le bruit de fond dans le local de réception reste toujours inférieur de 6 à 8 décibels au bruit mesuré pendant l'expérience : cette considération est en pratique très difficile à obtenir, sauf en utilisant les bruits-canonis signalés ci-dessus (§ 121.5).

Elle suppose également que la densité sonore est sensiblement la même en chaque point de chaque local, ce qui n'est pas réalisé pour les grandes salles.

2. On peut aussi mesurer R_F en déterminant le temps nécessaire, tant dans le local d'émission que dans le local de réception, pour que, la source étant bloquée brusquement, le niveau décroisse d'une quantité donnée de décibels (ou de phones).

C'est facile dans le local d'émission où le niveau, à l'arrêt de la source, est fort. Cela me paraît infiniment plus compliqué — voire même impossible — dans le cas du local de réception où, par nature même, le bruit transmis est faible. Malgré les références de KNUDSEN et de SABINE, je reste très sceptique sur les résultats obtenus par pareille méthode.

3. T_L peut se déduire de R_F par la formule donnée ci-dessus (§ 121.6) lorsqu'on est certain que la transmission du son entre les 2 locaux se fait uniquement par la paroi à mesurer.

4. On a utilisé aussi une méthode à peu près directe, dite du faisceau sonore :

On sépare deux chambres très absorbantes par la paroi à mesurer et l'on enregistre la pression sonore provoquée par un faisceau sonore aussi directif que possible dans la chambre de réception :

d'abord sans la paroi : p_1

puis avec la paroi : p_2

$$\text{D'où, aux erreurs près : } \tau = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^2$$

Malheureusement les erreurs sont importantes, car :

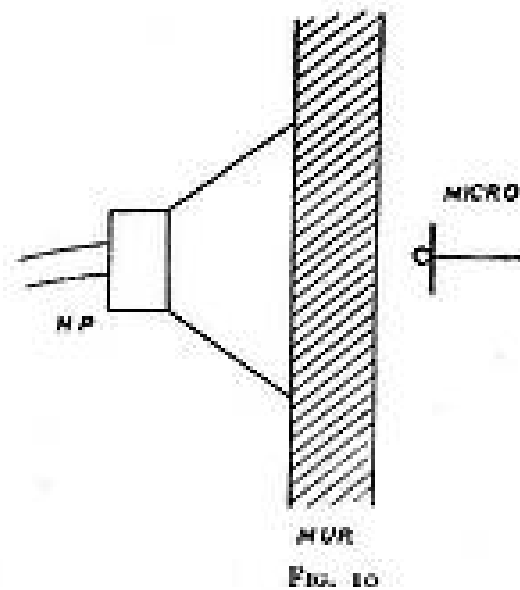
— la pression exacte ne peut se mesurer qu'avec un appareillage compliqué ;

— la source n'est certainement pas directive aux basses fréquences ;

— il y a certainement des ondes réfléchies.

5. La moderne méthode de RÆS est bien plus ingénieuse.

Contre la paroi à mesurer, on place un haut-parleur. Juste en face de l'autre côté, on place un microphone (fig. 10).



Dans le haut-parleur on envoie une forte impulsion. Le micro — branché sur un appareil enregistreur — reçoit alors toute une série d'impulsions plus ou moins déformées provenant des divers trajets suivis par l'onde sonore initiale (sans ou avec réflexion).

La première de ces impulsions correspond au trajet sonore le plus court : c'est évidemment celle qui a traversé la paroi directement.

On évalue le rapport des amplitudes entre l'impulsion initiale et la première reçue — éliminant ainsi toutes les causes d'erreurs possibles.

Malheureusement, le coefficient obtenu mesure quoi ?

L'isolement intrinsèque de la paroi ? Alors, le coefficient de double réfraction ? cela ne nous donne rien.

L'isolement du panneau fini qui sert à la mesure ? Encore faudrait-il savoir si ce mécanisme de mise en mouvement (une forte impulsion localisée) peut se comparer au mécanisme de transmission provoqué par une onde continue qui frappe un panneau de façon « incohérente ».

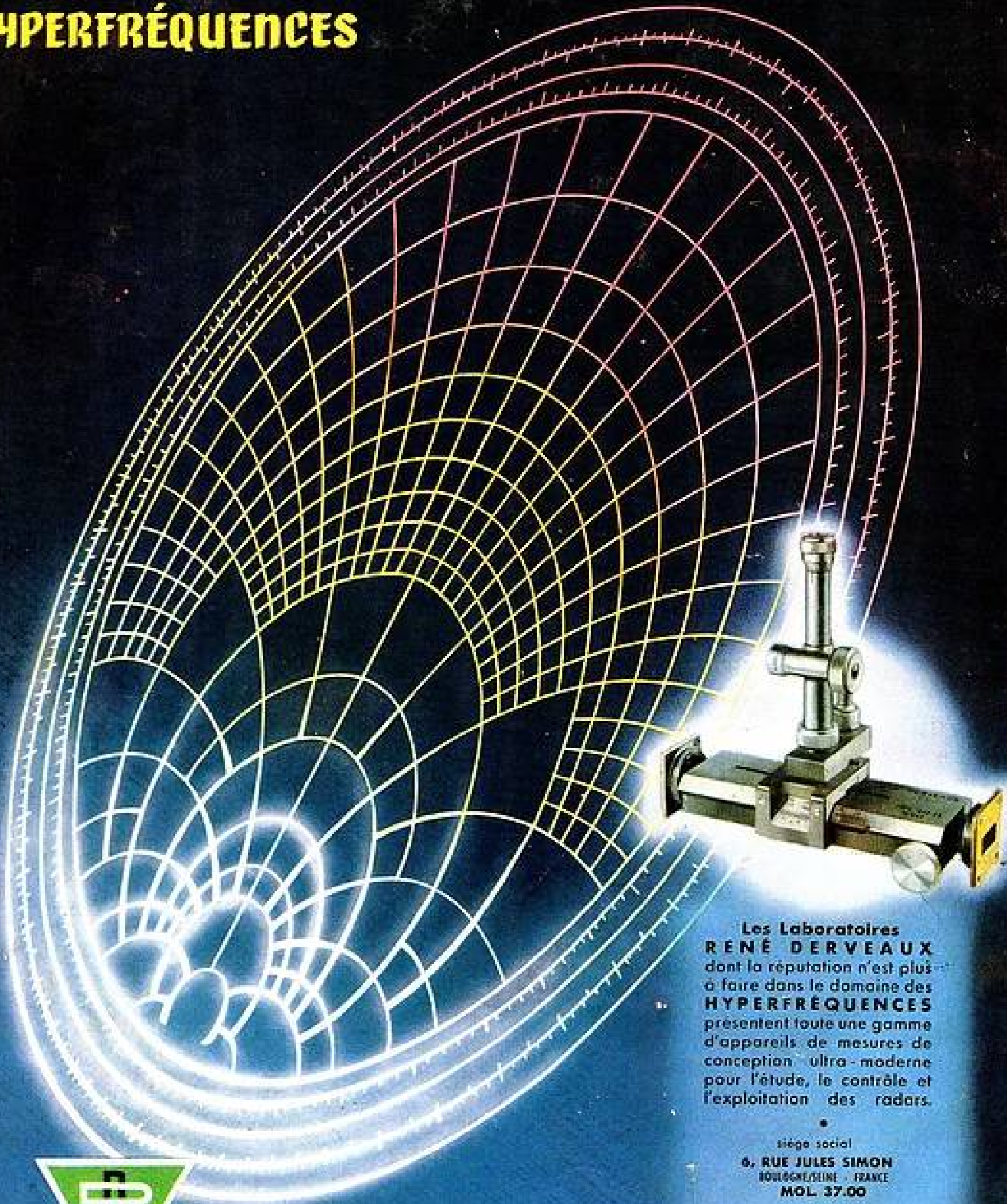
Autrement dit : on ne mesure que la période transitoire. Est-ce l'élément essentiel dans la vibration d'un panneau ?

6. Le Service des Bâtiments de la R.T.F. a réalisé dans un but pratique, toute une série de mesures basés sur la méthode décrite aux paragraphes 1 221 et 1 223.

MATÉRIEL DE MESURES

pour

HYPERFRÉQUENCES



Les Laboratoires
RENÉ DERVEAUX
dont la réputation n'est plus
à faire dans le domaine des
HYPERFRÉQUENCES
présentent toute une gamme
d'appareils de mesures de
conception ultra-moderne
pour l'étude, le contrôle et
l'exploitation des radars.

siège social
6, RUE JULES SIMON
BOULOGNE-SUR-MER - FRANCE
MOL. 37.00



LABORATOIRES R. DERVEAUX

Il estime que, de la méthode de RAES, on peut tirer beaucoup, et se propose de faire toute une série de mesures systématiques.

Son premier souci sera de vérifier, pour un panneau homogène donné, si la méthode de RAES donne un résultat constant, quand le point d'application de l'énergie sonore change.

1.2.3. — DÉTERMINATION DES ISOLEMENTS À RÉALISER.

0. Fixer la valeur de l'isolement d'un local c'est un des problèmes pratiques les plus importants à résoudre pour l'Acousticien : le prix d'une construction augmentant *très* rapidement avec le coefficient d'isolement à obtenir, il faut *viser* avec une grande précision.

Un tir trop court ne fait pas cesser les perturbations (le problème n'est pas résolu).

Un tir trop long entraîne des dépenses parfaitement inutiles.

1. L'idéal serait de réaliser pour une salle quelconque un isolement tel qu'il réduirait à un niveau inférieur ou égal au seuil d'audibilité le bruit maximum susceptible d'être produit.

Cette solution est à rejeter *pour des raisons de prix*.

A cet *isolement idéal*, on substitue un isolement *relatif* moins important, mais suffisant.

Pour le déterminer, il faut connaître :

- le *bruit maximum* tolérable dans une salle ;
- la *nature et l'origine des bruits extérieurs*.

2. On dit qu'un bruit de 30 phones est tolérable dans une salle, si la présence d'un bruit inférieur ou égal à 30 phones ne provoque ni *observations* ni *réclamations* de la part des personnes présentes.

Définition subjective et probabiliste, qui exclut toute précision dans le chiffre finalement retenu.

Suivant la destination du local, le bruit tolérable peut varier dans d'importantes proportions.

On admet assez généralement aujourd'hui des chiffres variant de 10 (laboratoires d'Acoustique) à 45 (Bureaux publics) en passant par 25 (Studios de Radio), 30 (Théâtre), 35 (Habitations) phones.

3. Il est bon de connaître l'ordre des grandeurs des niveaux des bruits usuels.

Les *ambiances courantes* sont comprises entre 45 et 70 phones.

De 70 à 85, impression supportable mais bruyante,

De 85 à 110, écoute pénible,

Au-dessus de 110, très rapidement intolérable.

De 45 à 25, calme,

De 25 à 15, très calme,

Au-dessous de 15, inhabituel.

4. On ne semble pas avoir étudié jusqu'à maintenant l'influence de la *nature* du bruit sur sa *tolérance*, dans un local donné.

Cette influence existe cependant : nous avons remarqué, en particulier à la R.T.F., qu'une modulation musicale arrivant dans un studio de Musique était particulièrement désastreuse ; d'où l'obligation d'augmenter l'isolement d'un studio quand on veut le protéger d'un studio de *même utilisation*.

Des études systématiques détaillées seraient à entreprendre.

5. Les bruits *extérieurs* dont il conviendra de protéger un local proviennent :

a) Soit de sources indépendantes du local ;

b) Soit de sources introduites par la construction même du local.

Les premières sont faciles à *déterminer* ou tout au moins à *mesurer* : il suffit de faire des relevés nombreux et systématiques. On admettra par *convention* qu'on considère comme *niveau maximum*, le niveau qui n'est dépassé que pendant 1 (ou 2) % du temps. Ce faisant, on tolère *sciemment* la perception gênante dans le local de bruits irréguliers, donc accidentels — qu'il serait beaucoup trop onéreux de prohiber.

Les secondes nécessitent la connaissance de l'utilisation des pièces voisines du local et des résultats statistiques sur les bruits produits dans des pièces de même emploi. Ces données sont mises en œuvre comme s'il s'agissait de sources extérieures au local. Elles permettent de *prévoir* les mesures à prendre, pour se protéger non seulement des sources existantes, mais encore des sources qui n'existent que lorsque le local est mis en exploitation.

6. La différence entre *bruit extérieur* et *bruit tolérable* est égale à l'*isolement* que l'on doit rechercher.

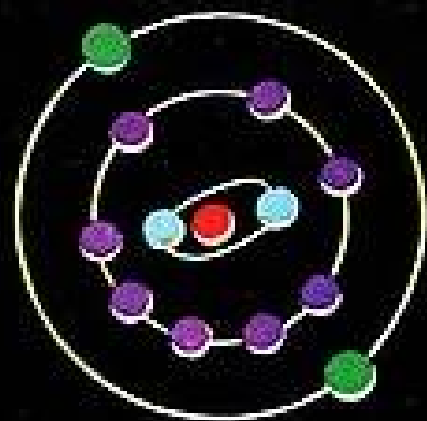
Suivant le nombre trouvé, les dispositions à envisager sont *très différentes* :

— pour obtenir un facteur de réduction inférieur à 40 phones aucune précaution particulière n'est à prendre ;

— pour obtenir 40 à 50 phones, il suffit d'une *construction très soignée* ;

— pour obtenir 50 à 60 phones, il faut mettre en œuvre des *procédés spéciaux* (cloisons doubles, portes isolantes, plafonds suspendus, etc...) ;

— pour dépasser 60 phones, il faut prendre des précautions en général draconiennes dès le début de la construction et dans l'édification du gros-œuvre (fondations indépendantes, murs massifs, etc.). Dans ce cas, les mesures acoustiques doivent être envisagées *dès la préparation des premiers avant-projets* : c'est souvent un manque de contact à ce stade entre Architecte et Acousticien qui conduit à poser *ultérieurement* à ce dernier des problèmes souvent *insolubles*.



Du télescope électronique ou microscope protonique, de la galaxie au noyau de l'atome, de l'infiniment grand à l'infiniment petit, il n'est point de problème, si compliqué soit-il qui ne soit résolu avec une fulgurante rapidité par l'Électronique, poste avancé des techniques modernes.



ÉLECTRONIQUE et TÉLÉCOMMUNICATIONS

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

ELECTRONIQUE ET TÉLÉCOMMUNICATIONS

69, RUE DE MONCEAU, PARIS 8^e - LAB. 60-50

1.3. — Propagation des bruits dans le bâtiment.

1.3.0. — TRAJETS SUIVIS PAR LE SON POUR ENTRER DANS UNE SALLE.

Ces trajets sont multiples, ce qui nous conduit à distinguer (fig. 11) :

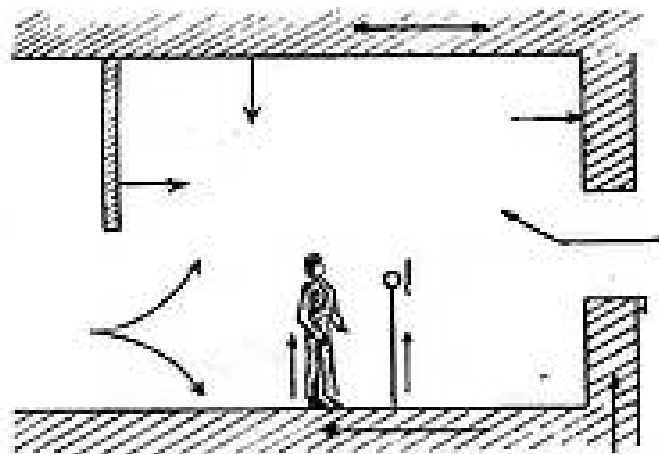


FIG. 11

1° Les bruits aériens qui arrivent par les ouvertures, portes, fenêtres, gaines de ventilation, joints, fissures de la construction ;

2° Les trépidations qui font vibrer les parois du local et par conséquent l'auditeur et le microphone ;

3° Les bruits mixtes qui suivent un trajet tantôt aérien, tantôt solide.

On distingue :

a) les bruits mixtes qui proviennent à l'oreille

- par les ouvertures ;
- par effet de diaphragme ;
- par conduction solide.

qui paraissent et de beaucoup, jouer le rôle le plus important.

1.3.1. — PROPAGATION PAR LES OUVERTURES.

0. C'est en général le facteur limitatif de l'isolement dans les bâtiments courants, car la présence de ces ouvertures est liée à la technique même de la construction classique.

La propagation suit des lois très différentes suivant qu'il s'agit de grandes ou de petites ouvertures.

1. Grandes ouvertures de faible épaisseur — portes ou fenêtres ouvertes.

L'énergie qui traverse une grande ouverture est proportionnelle à la surface de cette ouverture.

Physiquement donc, le niveau sonore exprimé en décibels décroît comme le logarithme de la surface de l'ouverture.

Physiologiquement, cette loi se complique en raison de la moindre sensibilité de l'oreille aux faibles niveaux et aux basses fréquences.

Voici un tableau permettant de dégager les lois fondamentales de la propagation du son par les grandes ouvertures : il a été fait en supposant arbitrairement que l'énergie traversant une surface de 1 m² est égale à 1/1 000 microwatt.

Surface de l'ouverture	Energie sonore en microwatts	Niveau physique en dB	Niveaux physiologiques (en phone) et Niveaux subjectifs (en millisones)			
			à 200 hertz	à 1 000 hertz	à 4 000 hertz	à 10 000 hertz
1 m ²	10 ⁻³	70	64 ph 7 000 ms	70 ph 10 000 ms	72 ph 11 000 ms	57 ph 4 000 ms
1 dm ²	10 ⁻⁴	50	32 ph 400 ms	50 ph 2200 ms	51 ph 2 300 ms	30 ph 380 ms
1 cm ²	10 ⁻⁷	30	8 ph 7 ms	30 ph 380 ms	30 ph 380 ms	20 ph 80 ms

sous forme de trépidation (ceux qui font vibrer le plancher des studios, par exemple) ;

b) les bruits mixtes qui proviennent à l'oreille sous forme de bruit aérien : ils sont rayonnés par des parties du local à protéger.

Ce rayonnement peut être localisé sur un petit élément (tuyau de chauffage par exemple) ou au contraire intéresser la totalité ou un élément de parois : on dit qu'il est produit alors par effet de diaphragme des cloisons.

Champ de bruit donc extrêmement complexe : à l'intérieur et hors du local à protéger, se produisent des échanges continuels d'énergie entre l'air et la structure de l'immeuble : on conçoit qu'il soit difficile de les analyser en détail. On se contente en pratique d'essayer d'arrêter les bruits provenant :

On en tire les trois lois suivantes :

1. — Le niveau subjectif d'un son transmis par une grande ouverture de faible épaisseur, si sa fréquence et son niveau sont moyens, ne décroît que lentement avec la surface de l'ouverture.

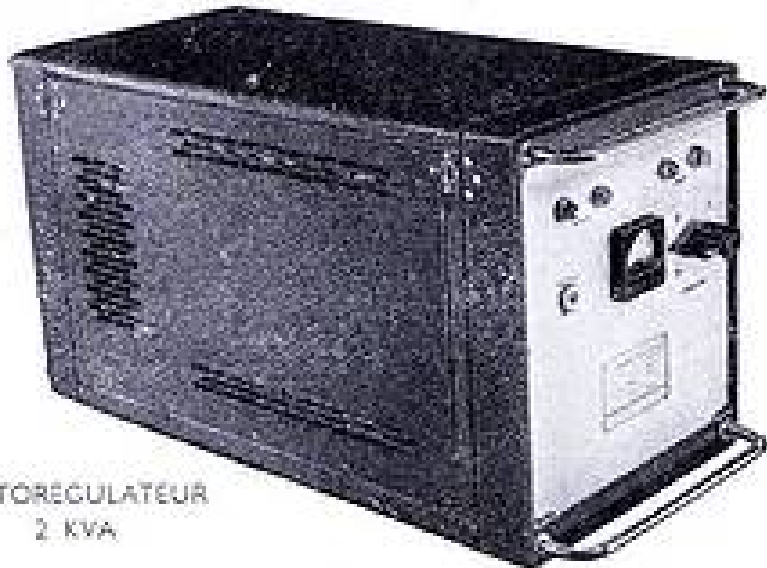
Ainsi une réduction de surface de 10 000 à 1 n'amènera qu'une diminution de niveau subjectif de 26 à 1 pour un niveau initial de 70 phones à la fréquence de 1 000 hertz.

2. — Le niveau subjectif aux fréquences basses décroît beaucoup plus vite avec la surface de l'ouverture qu'aux fréquences moyennes.

A 200 hertz, la réduction de surface 10 000 - 1 entraîne une réduction de niveau subjectif 1 000 - 1, au lieu de 26-1 à 1000 hertz.

RADIO-AIR

PUB. RAPHY



AUTORÉGULATEUR
2 KVA

- Emetteurs-Récepteurs de Bord
- Radio-Compas légers
- Autorégulateurs de Tension
- Variateurs de vitesse électroniques
- Télécommande, Téléniveaux avec ou sans asservissement
- Téléprojecteurs

Applications Industrielles Radioélectriques

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 300.000.000 DE FR5

72, rue Chauveau - Neuilly s/ SEINE - France

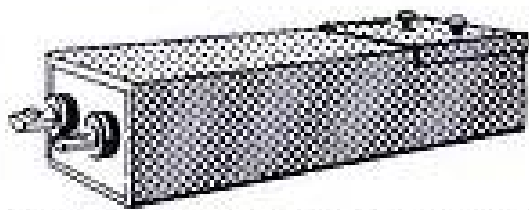


SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DU TERNOIS

ST-MICHEL-SUR-TERNOISE (P.-de-C.)

FILTRES

POUR CAGES DE FARADAY S.I.D.T.
AGENT GÉNÉRAL POUR
L'EUROPE DES FILTRES HOPKINS

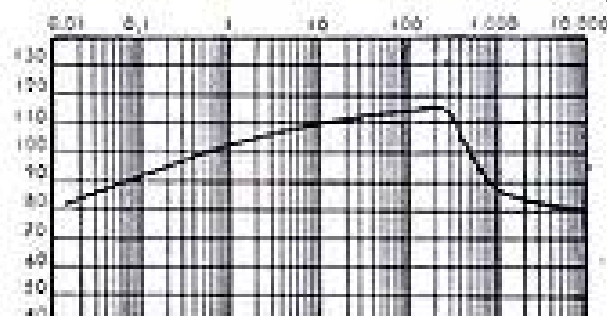


Courbe d'affaiblissement du filtre bifilaire, type 146 - 250 v. 30 ampères
400 périodes.



Brochure D. 13

Affaiblissement
100 dB
de 1 à 500 Mégacycles



Amplificateurs
mesurés dans la limite
de lecture des appareils

Brochures DI. 11

CAGES DE FARADAYS I.D.T.

BREVETÉ S.G.D.G.

Ces cages sont de type cellulaire, c'est-à-dire extensibles, réducibles, démontables, transformables. Elles sont à double écran grillagé donc transparentes et d'une parfaite aération. Elles donnent des caractéristiques d'affaiblissement exceptionnelles, supérieures à tout ce qui est connu à ce jour. Elles permettent de ce fait toutes les mesures, même les plus délicates, à l'abri des champs perturbateurs même les plus forts.

Téléphone : Usine, 229 St POL (P. de C.) — Bureau Paris, SABLons 84-75

3. — La décroissance du niveau subjectif avec la surface est d'autant plus forte que le niveau initial est plus faible.

Ces lois montrent :

— qu'il est difficile de se protéger d'un son parvenant par de grandes ouvertures ;

— qu'on s'en protège d'autant mieux qu'on atténue préalablement les bruits perturbateurs en entourant la salle de couloirs d'isolement.

2. Grandes ouvertures de grande longueur — tuyaux de ventilation.

L'expérience et le calcul (d'ailleurs peu précis) mettent en évidence que l'affaiblissement total dû à un tuyau de ventilation (logarithme du rapport des énergies sonores à la sortie et à l'entrée du tuyau) est donné par la formule approximative suivante :

$$N_{dB} = K \cdot a \cdot \frac{P}{S} \cdot L$$

(a coefficient d'absorption du produit revêtant la paroi intérieure du tuyau — P périmètre de la section — S surface de la section — L longueur).

On en conclut que, d'une façon générale, pour augmenter l'isolement d'un tuyau donné, il faut :

— augmenter sa longueur ;

— augmenter le périmètre de contact avec le son, pour une section donnée, ce qui conduit à utiliser des structures fortement cloisonnées (fig. 12) ;

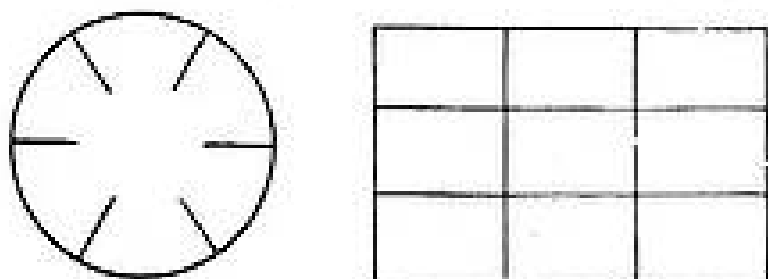


FIG. 12

— revêtir le tuyau d'un produit poreux aussi absorbant que possible.

Une série d'essais sur les tuyaux est actuellement entreprise par la R.T.F.

Remarque : un autre procédé pour arrêter le son parvenant par un tuyau est d'interposer des filtres acoustiques.

3. Petites ouvertures sans épaisseur.

Les résultats sont tout à fait différents.

Soit une onde plane caractérisée par sa pression p_0 et sa vitesse v_0 heurtant normalement un mur percé par une petite ouverture — qu'on peut supposer, par exemple, circulaire de rayon a (fig. 13).

Au passage de l'ouverture, l'onde change de forme. Par application du principe d'HUYGHENS, chaque particule de l'ouverture se comporte comme un

radiateur secondaire, de sorte que l'ensemble se comporte à peu près comme une plaque vibrante rayonnant une onde à peu près sphérique.

L'impédance opposée à la propagation de l'onde initiale passe donc brusquement de $\rho\Omega$ (impédance

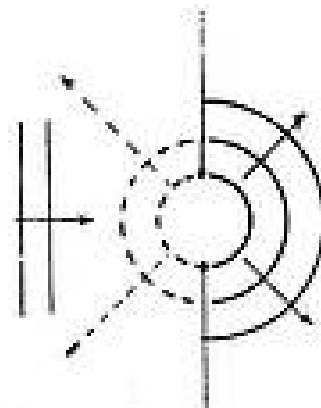


FIG. 13

de l'onde plane) à l'impédance de rayonnement d'une plaque, soit à peu près :

$$Z = \rho\Omega S \cdot \frac{4\pi^2 - j2\sqrt{2}\pi x}{4\pi^2 + x^2}$$

en posant $x = \frac{\lambda}{a}$ rapport de la longueur d'onde au rayon de l'ouverture.

On en tire sans difficulté le coefficient de transmission de l'ouverture :

$$\tau = \frac{16\pi^2(4\pi^2 + x^2)}{(8\pi^2 + x^2)^2 + 4\pi^2 x^2}$$

Quand x est petit (la longueur d'onde est petite par rapport à la dimension de l'ouverture), τ est voisin de 1 et l'énergie transmise est proportionnelle à la surface (cas des grandes ouvertures).

Quand x est grand (la dimension de l'ouverture est petite par rapport à la longueur d'onde), τ est nettement inférieur à 1.

$$\text{On a à peu près : } \tau = \frac{16\pi^2}{x^2}$$

L'énergie transmise est donc proportionnelle au carré de la surface : elle décroît très vite avec cette dernière.

Les réseaux de courbe ci-contre (fig. 14) donnent l'affaiblissement de transmission dû à l'effet d'ouverture. Ils montrent que :

a) Pour les petites ouvertures — quelques mm² — l'effet d'ouverture est très faible, quelle que soit la longueur d'onde ;

b) Pour les ouvertures plus grandes — l'effet d'ouverture n'est sensible qu'aux fréquences aiguës ;

COSSOR

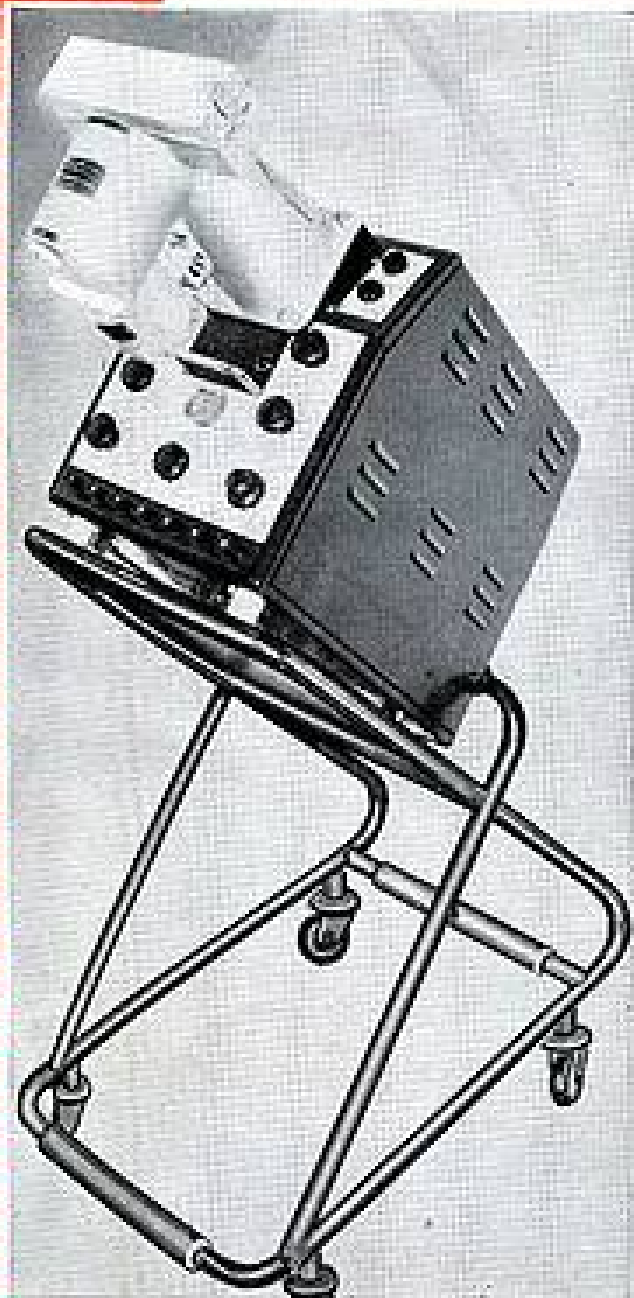
OSCILLOSCOPES "COSSOR"

TYPE	DEFLEXION VERTICALE			BALAYAGE HORIZONTAL			ETALONNAGE		TUBE			Observations
	Bande passante	Sensibilité	T. de montée	Vit. maximum	Vit. minimum	Retard	X	Y	ø	Ecran	P. D. A.	
1035	20 Hz - 7 MHz	0,01 V/cm		0,7 cm/µs	70 cm/s		oui	oui	10 cm	D, J, ou L (I)		2 faisceaux
1035M	25 Hz - 3,5 MHz	0,55 V/cm		2,5 mm/µs	70 cm/s		non	non	7 cm	D		1 faisceau
1049	0 - 100 KHz	33 mV/cm		0,6 mm/µs	6 cm/s		oui	oui	10 cm	D, J, ou L		2 faisceaux
1056	5 KHz - 60 MHz	0,2 V/cm	0,01 µs	10 cm/0,1 µs	10 cm/100 µs	0,15 µs	oui	oui	10 cm		4 ou 8 KV	1 fais. - Sonde 2 pF - 20 MΩ
1058	0 - 4 MHz	0,25 V/cm	0,1 µs	1,5 cm/µs	40 cm/s		oui	oui	10 cm	D	1,8 KV	1 faisceau amplificateur X
1059	5 Hz - 10 MHz	0,2 V/cm	0,04 µs	10 cm/µs	20 cm/s	0,25 µs	oui	oui	10 cm		3 KV	2 faisceaux identiques

(I) D = écran vert,
J = écran bleu (recommandé pour photographies),
L = écran à remanence bleu-vert.

NOTA — Les appareils sont normalement livrés avec l'écran souligné dans le tableau.

1035



1059

La camera modèle 1428 permet la photographie vue par vue des phénomènes observés sur l'écran; utilisée avec son moteur modèle 1431 (à vitesses comprises entre 0,12 et 62,5 cm/s) l'enregistrement continu des phénomènes devient possible.

Un chariot spécialement conçu permet le déplacement facile et silencieux de l'appareil.

1039 M



A. J. PUBLÉDITIC - NOUVEAUX CH.

L

Leland Radio Import Co.

M. BAUDET - 6, RUE MARBEUF - PARIS 8^e - TÉL. ÉLY. + 11-25

c) L'effet d'ouverture est beaucoup plus faible pour 100 petites ouvertures de 1 mm² que pour une seule grande ouverture de 1 cm².

On peut donc dire que :

— les sons graves sont mal transmis par les ouvertures ;

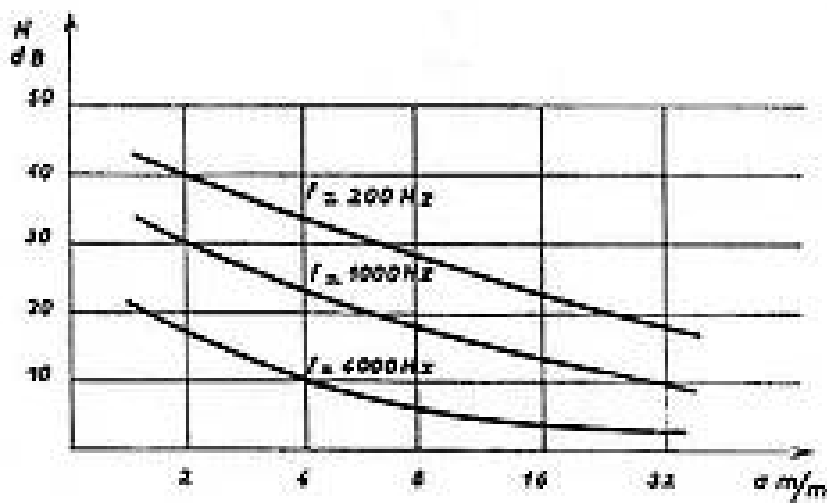
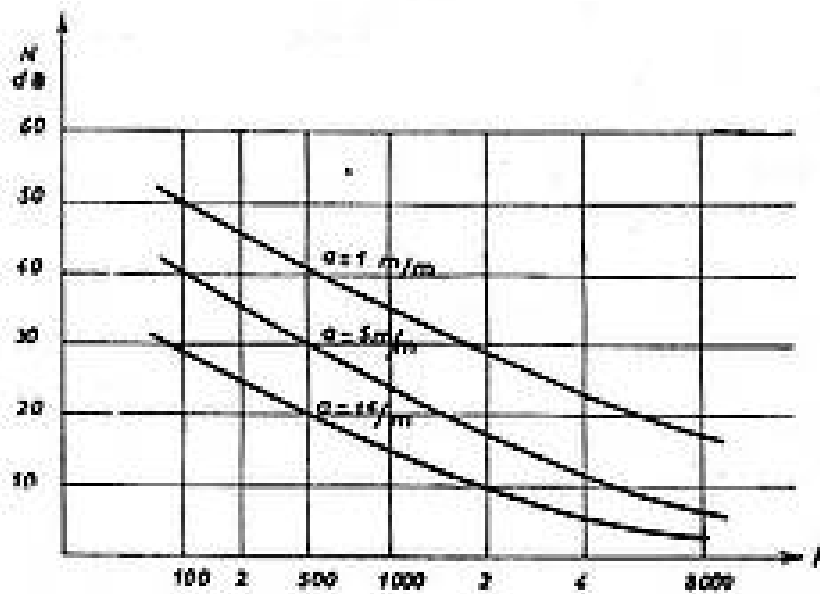


FIG. 14.

— la présence d'ouvertures millimétriques est généralement sans importance,

sauf :

- si le bruit extérieur a un niveau élevé ;
- ou si le local est très réverbérant.

4. Petites ouvertures percées dans une paroi épaisse.

Plus l'épaisseur de la paroi est grande, plus la transmission est faible.

Cet affaiblissement supplémentaire est dû à un phénomène de frottement causé, d'une part, par la viscosité de l'air dans les ouvertures de faible diamètre, d'autre part, par l'absorption propre du matériau dans lequel est percée l'ouverture.

En résumé, la présence d'ouvertures millimétriques dans un mur est en général sans inconvénient.

1.3.2. — PROPAGATION PAR EFFET DE DIAPHRAGME DES PAROIS.

0. Le problème de la transmission du son à travers une paroi, dégrossi par Lord RAYLEIGH a beaucoup évolué ces dernières années.

Par une série d'étapes, on tend à le résoudre aussi parfaitement que possible.

Remarquons que la transmission par double réfraction à travers les deux surfaces qui séparent l'air de la paroi, est extrêmement faible : elle correspond à un affaiblissement de l'ordre de 100 décibels.

Il faut donc chercher une autre explication de ce qu'on appelle souvent la transparence au son, toujours sensible, des parois.

A 1. Lord RAYLEIGH a assimilé la paroi à un piston vibrant rigidement sous l'action de l'énergie développée par le train d'onde incident et rayonnant du côté opposé.

L'énergie rayonnée dépend :

a) des caractéristiques élastiques de la paroi ou plus simplement de son impédance mécanique :

$$z = r + j \left(M\omega - \frac{E}{\omega} \right) ;$$

— r affaiblissement ou *taux d'amortissement* se mesure en donnant une impulsion au mur et en le laissant vibrer librement — r se déduisant du nombre de vibrations nécessaires pour que leur amplitude soit réduite à une fraction donnée de sa valeur initiale ;

— M masse ;

— E raideur qu'on obtient en cherchant expérimentalement la fréquence de résonance du mur

$$f_0 = 2\pi \sqrt{\frac{E}{M}}$$

D'où :
$$E = M \frac{f_0^2}{4\pi^2} = M \omega_0^2$$

b) de l'impédance de rayonnement de la paroi.

Tous calculs faits, on trouve, en posant $R = \rho\Omega$, résistivité de l'air :

$$\tau = \frac{4 R^2}{\left(R + \frac{r}{S} \right)^2 + \frac{M^2}{S^2} \omega^2 \left(1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2} \right)^2}$$

S étant la surface totale du panneau.

2. MEYER montra expérimentalement que *sauf aux très basses fréquences*, pour les cloisons d'emploi courant, la masse jouait un rôle prépondérant.

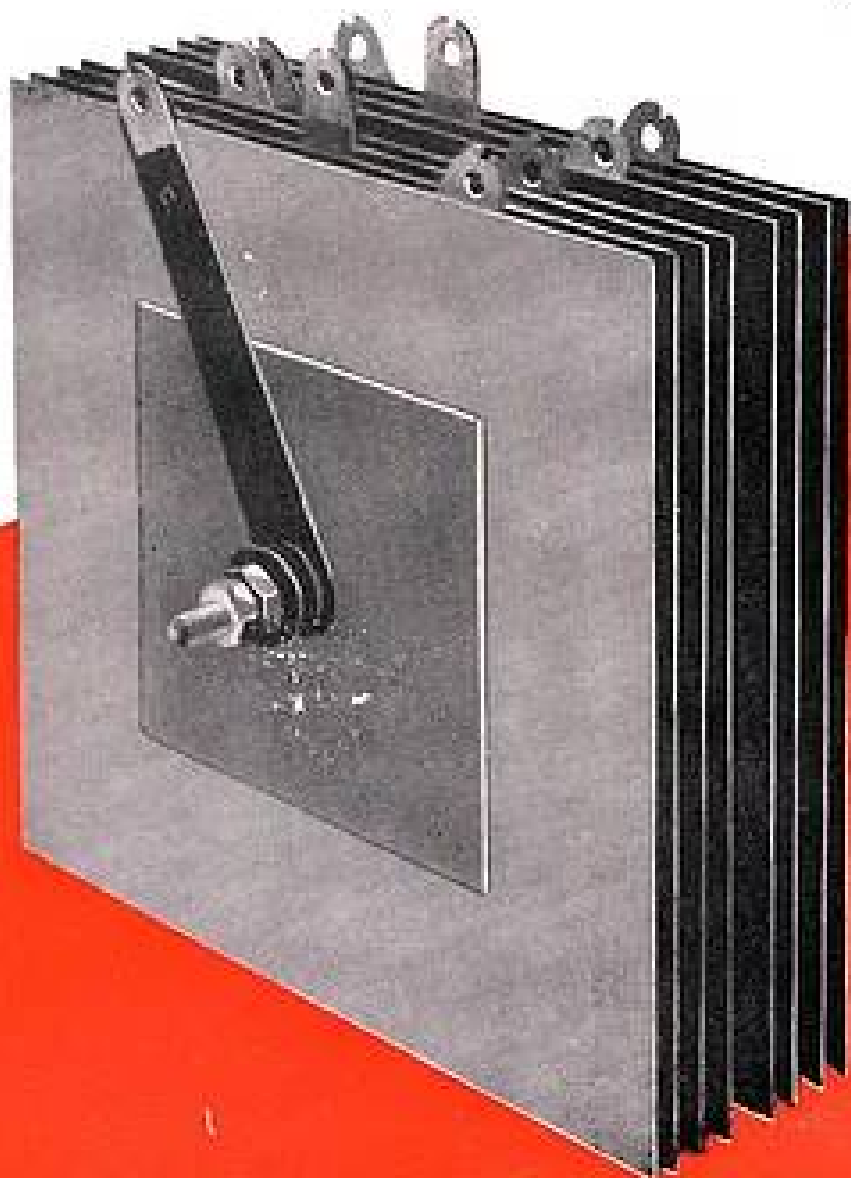
La formule de RAYLEIGH se simplifie et prend sa forme classique :

$$\tau = \frac{4 R^2}{m^2 \omega^2} \quad \left(m = \frac{M}{S} \right)$$

**CELLULES
REDRESSEUSES**

SELENOX

L.M.T.



*des essais
systématiques
garantissent
la régularité
de la qualité*

**DES CELLULES L.M.T. FONCTIONNENT
SANS INTERRUPTION
DEPUIS PLUS DE 150.000 HEURES**

L.M.T.

46, QUAI DE BOULOGNE - BOULOGNE-BILLANCOURT (SEINE) - TÉL. : MOL. 50-00

Elle montre :

— que l'affaiblissement de transmission est proportionnel au logarithme de la fréquence : ce sont les fréquences basses qui sont les mieux transmises ;

— que l'affaiblissement de transmission est proportionnel au logarithme de la masse. C'est la fameuse loi des masses d'où l'on tire (fig. 15) :

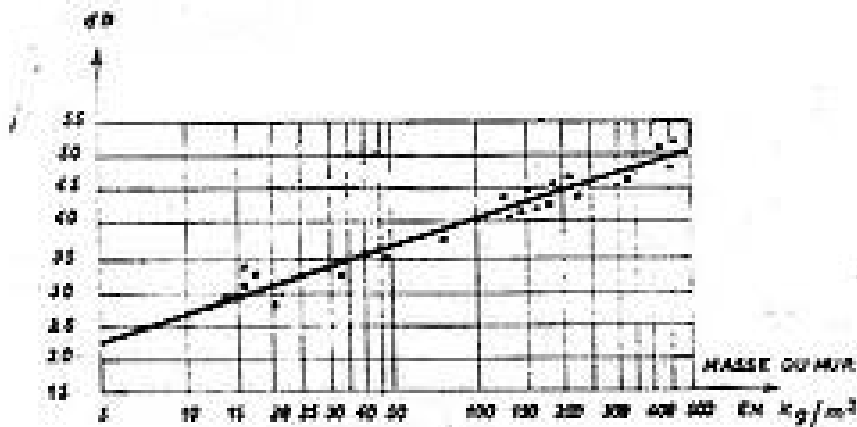


FIG. 15

a) que plus la masse du mur est élevée, plus l'isolement est fort ;

b) que l'isolement ne croît que *lentement* avec la masse ; un mur de 50 kg/m² donne en principe un isolement de l'ordre de 35 décibels ; mais un mur de 500 kg/m² donne à peine 50 dB.

3. Différentes expériences ont montré que les résultats *pratiques* s'écartaient assez sensiblement de la loi de RAYLEIGH :

— d'une part, les parois chargées d'un poids localisé ont un coefficient de transmission à peine modifié ;

— d'autre part, l'affaiblissement réel est toujours notablement plus faible que l'affaiblissement théorique, bien que l'action de la masse joue toujours dans le même sens (fig. 16) ;

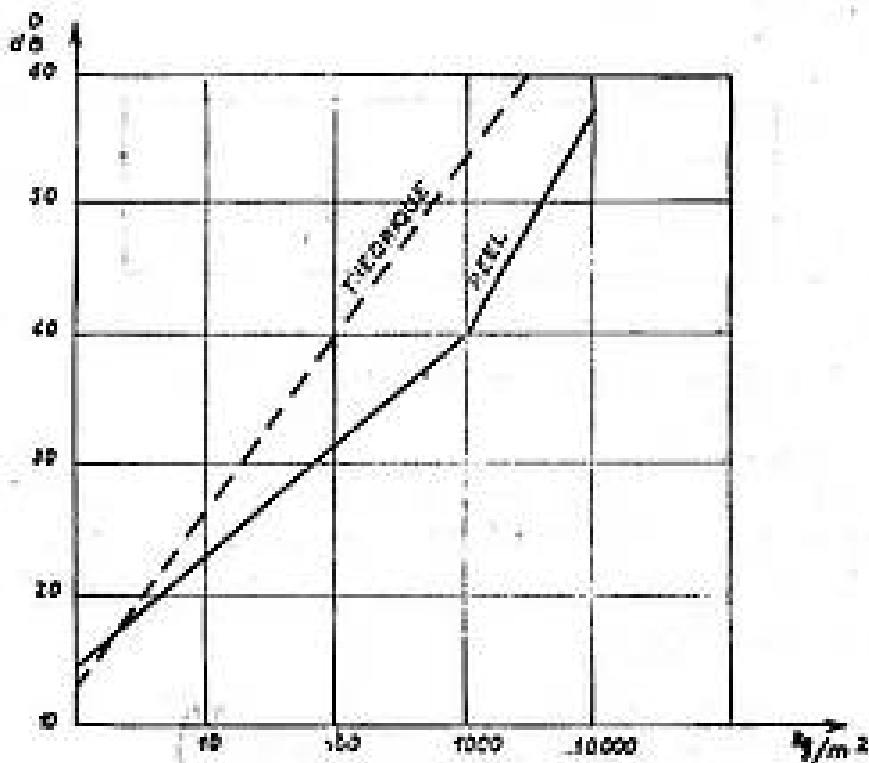


FIG. 16

— enfin, sous l'action d'une onde à incidence oblique, la paroi prend une forme de vibration donnée par la figure 17.

Tout ceci conduit à penser que la paroi se comporte comme si elle était constituée par quelques grosses masses distinctes dont les déplacements sont à peine gênés les uns par les autres.

Un calcul effectué dans ces conditions montre que l'affaiblissement en régime diffus (incidences quelconques) est inférieur de 6 à 10 décibels à l'affaiblissement en régime normal.

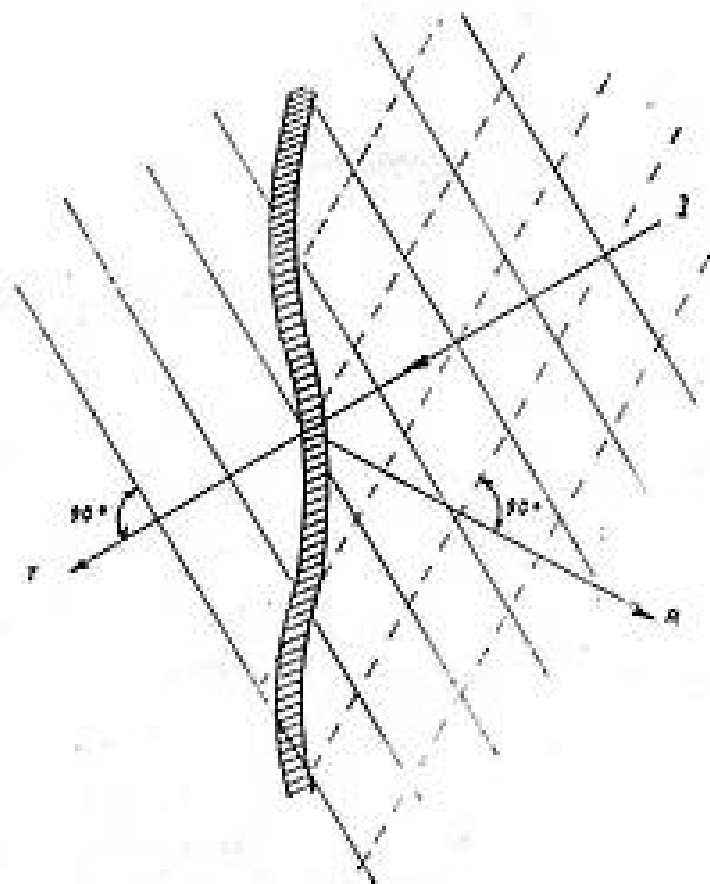


FIG. 17

D'ailleurs, cet affaiblissement dépend des conditions d'attaque de la paroi, conditions qui changent avec les dimensions du local, son traitement, la position et la directivité de la source.

4. On améliore les résultats précédents en assimilant la paroi, non plus à une série de masses distinctes, mais à une série de fibres vibrantes indépendantes les unes des autres.

Cette théorie apporte un élément nouveau : la mise en évidence des *partiels* ou fréquences propres des fibres. Quand la fréquence incidente coïncide avec un partiel, la transmission est évidemment améliorée — ce qui explique des trous dans la courbe qui donne le coefficient de transmission en fonction de la fréquence.

5. M. VOGEL a fait un calcul encore plus complet (en 1947) en assimilant la paroi à une plaque vibrante soumise à l'action d'une onde incidente sinusoïdale.

Dans ce cas évidemment, les fréquences de coïncidence sont les partiels de la plaque vibrante : le principe de leur existence n'est pas modifié.

Malheureusement, le calcul fort difficile, n'a été fait que pour les plaques homogènes ; il reste à l'étendre aux parois quelconques.

Collection de
HAUTE TECHNIQUE

- H. ABERDAM. - Amplificateurs à large bande, 212 p. 3.145 F
- L. BOE. - Dipôles et quadripôles, 148 p. 1.525 F
- L. G. BRAINERD. - Technique des ultra-hautes fréquences, 610 p. . . 3.145 F
- I. CHRÉTIEN. - Traité de réception de la télévision, 240 p. . . . 2.025 F
- V. JEAN-LOUIS. - L'ingénieur du son en radio, cinéma, TV. . . . 3.145 F
- R. METIER. - Les abaques à points alignés. 2.545 F
- R. MESNY. - Radioélectricité générale :
- I. - Circuits et propagation (broché seulement). 1.400 F
- II. - Tubes - Émission et réception (broché seulement). . . 1.700 F
- C. MONTGOMERY. - Technique des mesures en micro-ondes :
- I. - Sources d'énergie - Mesures de puissance - Mesure de fréquence, 520 p. 3.445 F
- II. - Impédances - Ondes stationnaires - Atténuateurs - Rayonnements 530 p. 3.645 F
- P. MOURMANT. - Le calcul graphique des circuits série-parallèle 2.245 F
- A. ROBERTS. - Balises radar (Radar Beacons) 640 p. 3.345 F

LES VARISTANCES (thermistances, résistances non-linéaires, redresseurs secs) et leur emploi par J. SUCHET
1.545 F

Ouvrages reliés pleine toile, décor bronze (prix port compris)

Éditions Chiron

40, rue de Seine - PARIS-VI
Dan 47-56 - C.C.P. Paris 53-35

6. Les parois étudiées ci-dessus sont des parois rigides.

Le calcul et l'expérience montrent que pour ces parois l'isolement obtenu ne saurait couramment dépasser une valeur qui est souvent *insuffisante* et même *très insuffisante* dans la pratique.

C'est ainsi qu'une paroi de :

— briques creuses de 25 cm (poids 210 kg/m²), donne un isolement moyen de 45 dB ;

— briques pleines de 25 cm (poids 450 kg/m²), donne un isolement moyen de 50 dB ;

— briques pleines de 35 cm (poids 630 kg/m²), donne un isolement moyen de 54 dB.

On voit à quels poids de cloisons entraîne la recherche d'isollements même pas considérables.

B 1. On conçoit que les *techniciens* aient cherché à améliorer l'isolement à poids égal.

Pour cela on utilise 4 procédés :

a) les cloisons rigides multiples ;

b) les structures légères où l'élasticité n'est plus négligeable devant la masse ;

c) les cloisons poreuses ;

d) les cloisons multiples combinées.

2. En première et grossière approximation, les affaiblissements provoqués par 2 parois parallèles s'ajoutent.

D'où l'idée d'utiliser des parois multiples rigides et d'abord des parois doubles ; en fait, l'amélioration est toujours *très inférieure* à celle trouvée théoriquement, parce qu'il est très difficile, voire impossible, d'empêcher un certain *couplage* entre les parois.

Pour rendre ce couplage aussi lâche que possible, il faut :

— d'une part, séparer aussi complètement que possible les poutres ou murs sur lesquels s'appuient les deux parois ;

— d'autre part, écarter les parois d'au moins 10 à 15 cm.

3. Les structures dites légères ont une élasticité énorme de telle sorte qu'il n'est pas possible de négliger cet élément devant leur masse : on obtient ce résultat en les appuyant sur un cadre de caoutchouc mousse épais ou d'un produit synthétique.

L'étude des structures légères fait l'objet *actuellement* de nombreux travaux de mise au point.

Le but de ces travaux est limité : obtenir, pour les cloisons légères, un isolement amélioré. Il ne s'agit donc nullement par ce procédé d'obtenir de forts isollements.

4. Les parois poreuses transmettent le son, non par vibrations — celles-ci étant très rapidement amorties — mais par conduction à travers les pores du matériau.

Il y a toute une étude théorique à faire sur ce mode de transmission.

Les courbes pratiques montrent que (fig. 18) :

— plus l'épaisseur du matériau est grande, plus la transmission est faible, et il semble qu'il y ait une certaine proportionnalité entre ces 2 quantités ;

— les courbes de transmission en fonction de la fréquence présentent un maximum pour une certaine valeur qui dépend et du diamètre des pores et de l'épaisseur des matériaux.

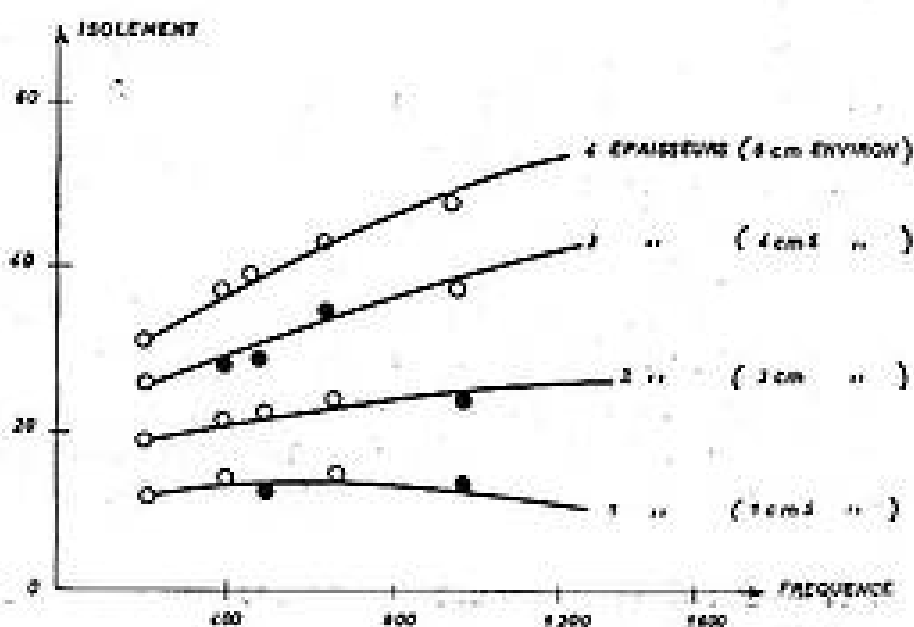


FIG. 18

Pour obtenir une forte isolation, il faudrait utiliser des épaisseurs considérables impossibles à réaliser à cause du *manque de rigidité* des matériaux poreux.

Les cloisons poreuses sont rarement utilisées seules.

5. Par contre, elles sont très souvent utilisées en combinaison avec les cloisons rigides.

L'introduction de matériaux poreux dans l'espace d'air limité par une double cloison, produit un double effet favorable :

— absorption supplémentaire du son par effet de porosité ;

— affaiblissement du couplage entre les parois.

On peut gagner par ce procédé, pour des isollements déjà forts, plus de 5 décibels.

1.3.3. — PROPAGATION PAR CONDUCTION.

0. C'est un problème de propagation à l'intérieur d'un corps solide : nous n'en soulignerons que les caractéristiques les plus essentielles.

1. La conduction dépend essentiellement :

— des qualités élastiques des matériaux où se propage le son ;

— des dimensions de ces matériaux ;

— de la nature et du nombre des matériaux traversés.

2. La plupart des métaux, l'acier, le cuivre... le béton, le béton armé, les matériaux durs de la construction (pierre, brique), la terre tassée, conduisent bien le son.

Par contre, le plomb d'une part, les matériaux poreux d'autre part, non seulement conduisent mal

et voici

les OSCILLOSCOPES

HEWLETT PACKARD



Oscilloscope 130A BF

Bande passante du continu à 300 Kc

Oscilloscope 150A HF

Bande passante du continu à 10 Mc

Etudiés avec autant de soin que toute la lignée des instruments H.P. L'utilisateur trouvera la mise en place de ces deux nouveaux instruments aussi bien dans le laboratoire qu'au contrôle de la production et des essais.

Pièces détachées sélectionnées, circuits non surchargés - accessibilité complète des sous-ensembles - montage en circuits imprimés sur matière translucide permettant une visibilité totale des éléments pour la maintenance.

Système de déclenchement automatique « Universel » préréglable.

	HP 130A - BF	HP 150A - HF.
Balayages :	1 μ sec/cm à 15 sec/cm 21 commutations - séquence 1-2-5-10 1 μ sec/cm à 5 sec/cm - précision 5%.	0,02 μ sec/cm à 15 sec/cm 24 commutations - séquence 1-2-5-10. 0,1 μ sec/cm à 5 sec/cm - précision 3%.
Déclenchement :	Incorporé, secteur, extérieur, 2 V, ou plus Pos. ou nég. + 30 V, à - 30 V.	Incorporé, secteur, extérieur, 2,5 V, ou plus Pos. ou nég. + 30 V, à - 30 V.
Amplificateur d'entrée horizontal :	Sensibilité 1 mV/cm à 50 V/cm en 14 commutations avec vernier de continuité. Bande passante de 0 à 300 kc.	Amplification 5-10-50-100. Bande passante continu à 500 Kc. Sensibilité 200 mV/cm à 25 cm.
Amplificateur vertical :	Identique à l'amplificateur horizontal.	Bande passante : du continu à 10 Mc. Temps de montée inférieur à 0,035 μ sec. Retard du signal de 0,25 μ s. sur le balayage - (vision du front avant).
Calibration Amplitude :	Onde carrée de 1 Kc. Précision 5%.	18 tensions de calibration. Séquence 2-5-10 de 0,2 mV à 100 V, crête à crête. Précision 3%. onde carrée de 1 Kc. Temps d'inversion 1 μ sec.

Le HP 150A HF, peut être doté du tiroir amplificateur 151A à haute sensibilité ou du tiroir 152A à 2 canaux d'amplification permettant aussi de voir figurer simultanément 2 phénomènes sur l'écran. Il possède en plus un dispositif de balayage « monocoup » commandé.

Ag. Demenach

DISTRIBUTEUR EXCLUSIF FRANCE ET U. F.
RADIO ÉQUIPEMENTS 65, RUE DE RICHELIEU
 PARIS-2^e - TÉL. RIC. 49-88

le son mais encore l'absorbent en partie, du fait de leur forte résistance interne.

3. Plus la largeur des matériaux est faible devant leur longueur, plus la transmission à distance est efficace. C'est le cas des tuyauteries d'acier ou de cuivre — des poutres en fer ou en béton armé.

Dans la terre tassée par contre, il y a dispersion et la transmission du son ne se fait sentir qu'à petite distance.

4. Si l'onde sonore est astreinte à traverser une succession de matériaux ayant des propriétés élastiques différentes, chaque passage s'accompagne d'une perte d'énergie notable par réflexion ou diffusion et l'onde s'atténue très vite.

C'est ainsi que les murs en pierre, en briques — hétérogènes par construction — conduisent moins bien le son que les parois monolithes de béton.

L'interposition sur le trajet de l'onde de matériaux poreux ou à faible rigidité (plomb) peut accroître cet effet dans des proportions considérables.

1.4. — Procédés pratiques de protection contre le bruit.

0. Nous ne développerons pas ce chapitre.

Les procédés pratiques d'isolation phonique ont fait, font et feront l'objet de longs et nombreux développements, avec figures et schémas, auxquels je renvoie le lecteur.

1. Je rappellerai simplement une série de principes :

a) Avant toute chose, on s'efforce, quand c'est possible, de s'écarter des zones bruyantes (choix de terrain, choix d'étage, éloignements de cabines par rapport aux moteurs, etc...).

b) Puis on essaie, quand c'est possible, de supprimer ou diminuer le bruit à sa source (installation de silencieux, ralentissement de la vitesse de certains organes, pose de produits absorbants sur les parois des pièces bruyantes, etc... parfois simple organisation et simples instructions à donner ou à faire donner) ;

c) Puis, quand c'est possible, on essaie de diminuer le bruit à l'arrivée, en revêtant le local à protéger de produits absorbants, dans des conditions compatibles avec son utilisation.

d) Après quoi, seulement, on s'efforce d'éviter la propagation du bruit, en utilisant les 3 principes fondamentaux nécessaires et suffisants :

— Amortissement du bruit passant par les grandes ouvertures (allongement de canalisations, revêtement interne d'absorbants, pièges à son, etc.).

— Réalisation de panneaux multiples aussi indépendants que possible élastiquement les uns des autres (murs et cloisons doubles, planchers flottants, etc...).

— Application de nombreuses discontinuités dans la construction (éviter les structures monoli-

thiques, couper les tuyauteries métalliques, introduire des joints en caoutchouc, en feutre, en matière plastique, en plomb, judicieusement répartis, etc...).

2. On se rappellera enfin qu'il est toujours beaucoup plus difficile de corriger un défaut d'isolement phonique que de prendre a priori les mesures nécessaires pour obtenir telle isolation que l'on désire.

Les Maîtres d'œuvre, les architectes, les entreprises ont donc le plus grand intérêt à faire entrer en ligne, de compte l'isolement phonique, dès la première phase de l'étude du local à construire, quelle que soit sa nature.

II. — ACOUSTIQUE INTÉRIEURE DES SALLES

2.1. — Considérations générales.

2.1.1. — BUTS DE L'ACOUSTIQUE INTÉRIEURE DES SALLES.

a) Étudier la répartition du son à l'intérieur des salles ;

b) Déterminer les conditions d'écoute optimale du son dans les salles ;

c) Réaliser des salles permettant cette écoute optimale (ou accessoirement améliorer les salles existantes).

2.1.2. — CLASSIFICATION DES SALLES SELON LEURS DIMENSIONS.

Les salles rencontrées en architecture ont des dimensions qui varient de 2 m³ (cabines téléphoniques) à 50 000 m³ et même plus (cinémas - salles de concert - églises).

Du point de vue acoustique, on les classe en 3 groupes :

1° Salles moyennes, caractérisées par une homogénéité du son et l'absence apparente de résonances propres ;

2° Salles petites, caractérisées par l'apparition de résonances propres ;

3° Salles grandes, caractérisées par un manque d'homogénéité de la salle qui se traduit par l'existence d'échos ou défauts similaires.

2.1.3. — MÉTHODES D'ÉTUDE DES SALLES.

Comme tout espace limité, une salle peut être étudiée de 2 points de vue :

1° Point de vue de d'Alembert. — On suit l'onde dans son trajet, on étudie chaque réflexion et par une évaluation statistique on détermine ce qui se passe en chaque point de la salle. Nous verrons quelles limites ce point de vue impose au calcul et à la valeur des formules trouvées ;



LCC
LA CÉRAMIQUE

LA CÉRAMIQUE s'impose
PARTOUT!

- ★ **STABILITÉ**
- ★ *Miniaturisation*
- ★ **SÉCURITÉ**

L'emploi généralisé des condensateurs céramiques dans les circuits électroniques a contribué indiscutablement au développement de l'industrie **RADIO ET TÉLÉVISION**

La multiplication dans les Usines L.C.C. de machines automatiques spéciales, a permis de mettre à la disposition des industriels un matériel de grande série. Sa qualité constante et son prix l'imposent dans tous les circuits H.F.

CONDENSATEURS DE CIRCUIT

1,5 pF à 270 pF
± 5 % ± 10 % ± 20 %
TE 1500 Vcc Ig G < 10.10⁻⁴

CONDENSATEURS DE DÉCOUPLAGE

330 pF à 10.000 pF
+ 40 % - 20 %
TE 1000 Vcc Ig G < 300.10⁻⁴

CONDENSATEURS AJUSTABLES

0,5 - 3 pF, 1 - 10 pF
8 - 3 pF, 42 - 16 pF
TE 1500 Vcc Ig G < 20.10⁻⁴

CONDENSATEURS DÉCOUPLAGE HF

500 pF et 1000 pF
TE 20 KV eff. 50 Hz
Ig G < 50.10⁻⁴

★
**LE CONDENSATEUR
CÉRAMIQUE**

S.A.R.L. CAPITAL 130.000.000 DE FR.S

LCC

SERVICES COMMERCIAUX : 22, RUE DU GÉNÉRAL FOY, PARIS-8^e

LAB. 38-00

2° *Point de vue de Bernoulli.* — On étudie les vibrations propres de la salle et on les combine entre elles pour satisfaire aux conditions initiales.

Il est évident que ces deux points de vue expriment deux aspects complémentaires d'un même problème.

2.2. — Les salles moyennes.

2.2.0. — Les salles dites moyennes se caractérisent par l'absence de vibrations propres apparentes et par une répartition homogène du son, à l'intérieur de leur volume.

Celui-ci est approximativement compris entre quelques dizaines et quelques centaines de m³.

2.2.1. — THÉORIE DE SABINE.

1. SABINE fut amené, en 1895, à examiner la mauvaise acoustique d'une salle de conférence de l'Université d'Harvard.

Il s'aperçut que les troubles étaient dus à une prolongation excessive de l'audition de chaque syllabe qui, chevauchant les suivantes, apportait ainsi une regrettable confusion à l'écoute.

Il donna le nom de *réverbération* à cette espèce de résonance et s'efforça de trouver le moyen *systématique* de la déterminer : sa méthode consistait à partir d'un son stable (produit par un haut-parleur fonctionnant en permanence par exemple) et, après l'avoir coupé brusquement, à en mesurer le *temps d'extinction*.

Mais SABINE eut une autre idée : constatant que la durée d'extinction variait suivant la nature des revêtements de la salle, il s'efforça de caractériser phoniquement ceux-ci et de calculer la relation qui lie cet élément phonique à la réverbération.

Après divers tâtonnements, il est arrivé aux résultats qui vont être exposés ci-dessous.

2. La théorie de SABINE est une conséquence de la définition du *coefficient d'absorption* d'un panneau.

On appelle coefficient d'absorption d'un panneau donné le *rapport entre l'énergie absorbée par le panneau et l'énergie incidente* :

$$a = \frac{E_a}{E}$$

On supposera que *a* est *indépendant de l'énergie initiale*, ce que vérifie sensiblement l'expérience.

3. Soit alors une salle, à l'intérieur de laquelle, grâce à des haut-parleurs, on a réalisé un régime sonore *stable*. On coupe brusquement les haut-parleurs : le son va décroître. Quelle est la *loi de décroissance de l'énergie sonore* ?

Soit *E* cette énergie au temps *t*. Appelons *a* le coefficient d'absorption des parois : l'énergie absorbée par une réflexion est évidemment *aE*.

C'est aussi l'énergie perdue ΔE par une réflexion :

$$\Delta E = - aE$$

Or, dans une salle régulière, les réflexions se produisent en moyenne à des intervalles de temps constants :

$$\Delta t = K$$

De $\frac{\Delta E}{\Delta t} = - \frac{a}{K} E$, on tire :

$$E = E_0 e^{-\frac{a}{K} t} \quad E_0 \text{ énergie initiale}$$

C'est la *première formule de Sabine* qui exprime que :

La décroissance (ou la croissance) de l'énergie sonore dans une salle est une fonction exponentielle du temps.

Comme le niveau sonore est proportionnel à $\log. E$ cette loi peut s'énoncer aussi sous la forme suivante :

La décroissance (ou la croissance) du niveau sonore est une fonction linéaire du temps (fig. 19).

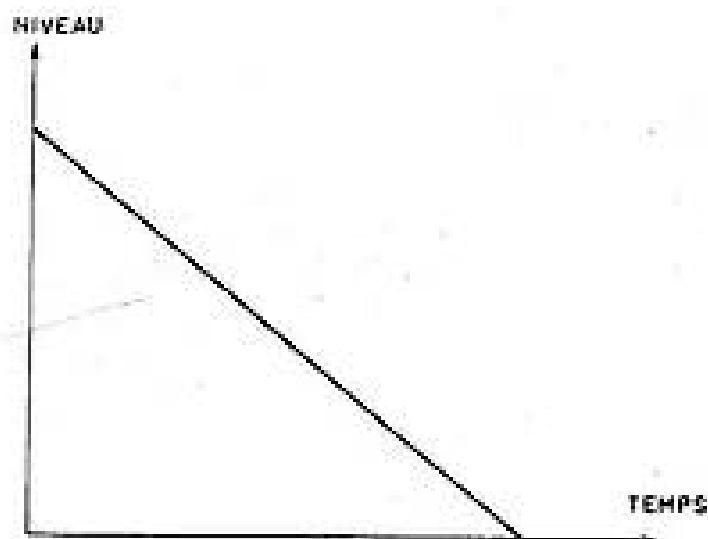


FIG. 19

Les mesures faites confirment cette loi et donnent effectivement des courbes de décroissance du niveau linéaires, dont la *pente* varie avec la *qualité* de la salle.

4. Plus la décroissance est rapide, moins la salle est résonante.

SABINE appelle *temps de réverbération d'une salle*, le *temps mis par l'énergie sonore pour être réduite au millionième de sa valeur initiale*. Soit T_r .

La première formule de SABINE donne immédiatement :

$$T_r = \frac{13,8 K}{a}$$

Or *K* est le temps moyen entre 2 réflexions : ce temps ne dépend que des dimensions de la salle

Téléphonie

PAR COURANT PORTEUR

SUR LIGNE AÉRIENNE

* TURQUIE

* NORVÈGE

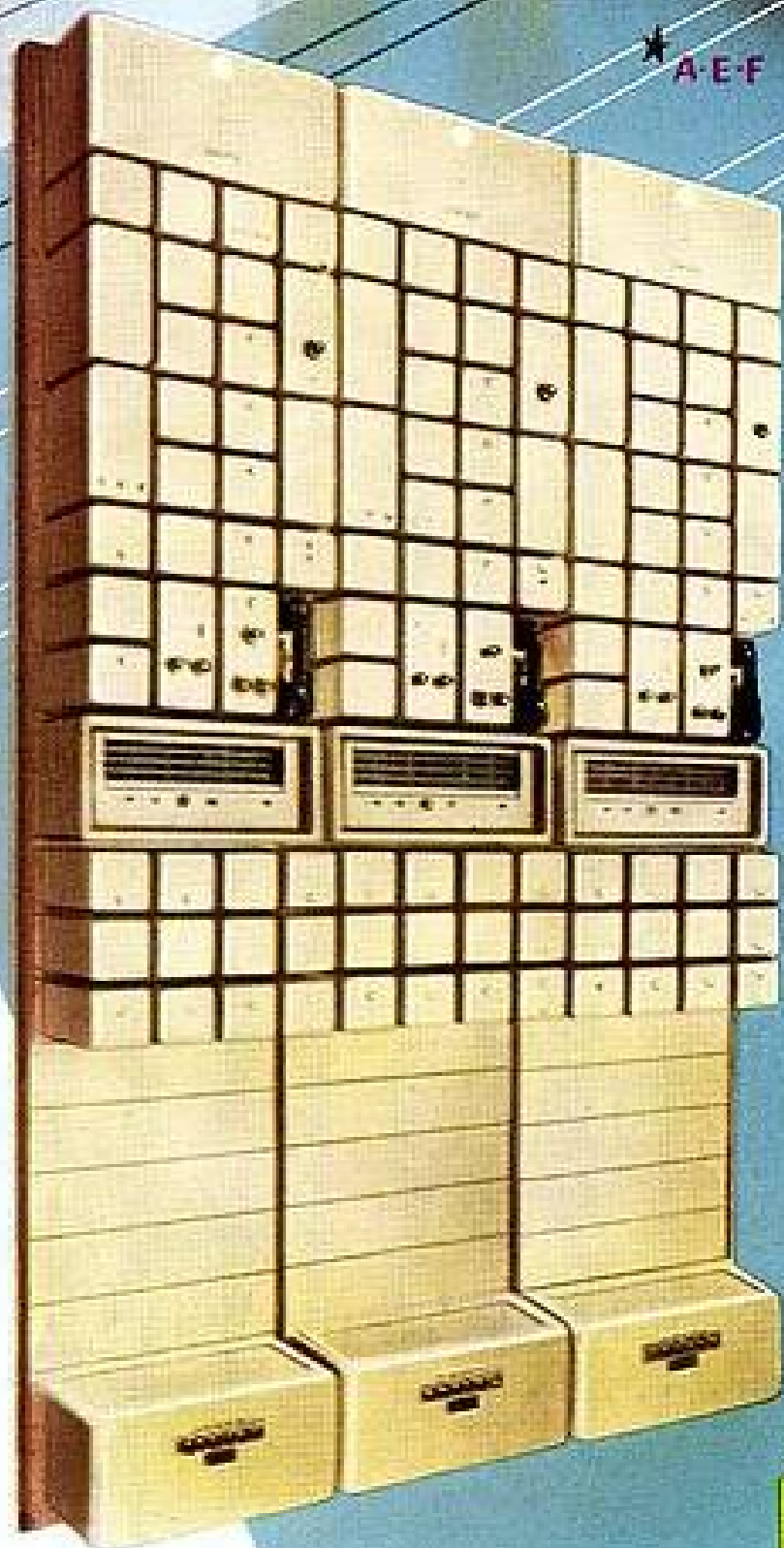
* FINLANDE

* GRÈCE

* A-E-F

* MADAGASCAR

* A-O-F



Madagascar

STATION TERMINALE
DE TANANARIVE

desservant

- FIANARANTSOA
- TAMATAVE
- MAJUNGA

EN COURS
D'ÉQUIPEMENT

TÉLÉCOMMUNICATIONS
Radioélectriques et Téléphoniques

TRT

26 RUE BOYER — PARIS - XX^e — TEL : MEN 62-94

pourvu que celle-ci soit régulière. C'est ce qu'a vérifié KNUDSEN, qui a trouvé pour 11 modèles de salles des valeurs comprises entre 0,94 et 1,08 fois les valeurs théoriques, l'écart moyen étant inférieur à 3 %, donc pratiquement négligeable.

Si l'on appelle p le *parcours moyen* entre 2 parois et Ω la célérité du son, on a évidemment : $K = \frac{p}{\Omega}$

Or, on démontre analytiquement que : $p = \frac{4V}{S}$,

V volume de la salle,

S somme des surfaces des parois.

D'où :
$$K = \frac{4V}{S\Omega}$$

On en tire immédiatement la *seconde formule de Sabine* :

$$T_r = \frac{0,16 V}{A}$$

T_r exprimé en s,

V exprimé en m^3 ;

$A = aS$, qui s'appelle l'*absorption totale* de la salle, s'exprime en *sabines*.

Si la salle est composée de n plaques de surfaces respectives S_1, S_2, \dots, S_n et de coefficients d'absorption respectifs a_1, a_2, \dots, a_n , Sabine admet que :

$$aS = a_1 S_1 + a_2 S_2 + \dots + a_n S_n .$$

2.2.2. — FORMULES POSTÉRIEURES A SABINE.

1. La formule de SABINE n'est valable que si ΔE et Δt sont petits :

Δt petit exige que la salle ne soit pas trop grande (condition d'*homogénéité*),

$\Delta E (= aE)$ exige que a ne soit pas trop grand : la formule n'est valable que pour les salles *relativement peu absorbantes*.

2. Raisonement d'EYRING :

- Si E_0 est l'énergie initiale au temps $t = 0$
- Après 1 réflexion $E_1 = E_0 (1 - a)$ au temps $t = K$
- Après n réflexions $E = E_0 (1 - a)^n$ au temps $t = nK$

L'élimination de n donne la :

1^{re} formule d'Eyring :
$$E = E_0 (1 - a)^{\frac{S\Omega}{4V} t}$$

2^e formule d'Eyring :

$$T_r = \frac{0,07 V}{S \log (1 - a)^{-1}}$$

a étant toujours défini d'après l'*hypothèse* de SABINE :

$$a = \frac{a_1 S_1 + \dots + a_n S_n}{S}$$

La formule de Sabine n'est qu'une *approximation* de la formule d'Eyring.

3. MILLINGTON élimine la dernière hypothèse de SABINE, en partant d'une salle composée de n panneaux ($S_i ; a_i$)

Il admet que dans le temps $\Delta t = K$, le rayon sonore rencontre n_1 fois le panneau S_1 , n_2 fois le panneau S_2, \dots avec les relations évidentes :

$$n_1 = n \frac{S_1}{S} \quad n_2 = n \frac{S_2}{S} \dots$$

or
$$n_1 + n_2 + \dots = n = \frac{t S \Omega}{4 V}$$

D'où
$$n_1 = \frac{t S_1 \Omega}{4 V} \quad \text{etc...}$$

Le même raisonnement qu'Eyring donne :

1^{re} formule de Millington
$$E = E_0 (1 - a_1)^{\frac{S_1 \Omega t}{4V}} (1 - a_2)^{\frac{S_2 \Omega t}{4V}} \dots$$

2^e formule de Millington
$$T_r = \frac{0,07 V}{\sum S_i \log (1 - a_i)^{-1}}$$

4. Pour les fréquences moyennes et aiguës, on doit tenir compte d'une *absorption pendant la propagation*, due à des phénomènes extrêmement complexes.

Cette absorption varie d'ailleurs avec l'*humidité de l'air* et la *température*.

Comme elle est proportionnelle à l'énergie initiale et à la distance,

on a $\Delta E = -\mu dx E$ D'où $E = E_0 e^{-\mu x}$

Le coefficient μ à la température de 21° centigrade est donné en fonction de l'humidité, par les courbes ci-contre (fig. 20).

a) Que devient la formule de Sabine quand on tient compte de cette absorption ?

SOCAPEX



CONNECTEURS RADIO AIR SÉRIE T

Cette série dite « Tropicale Standard » comprend 37 dispositions de contacts (de 1 à 43 contacts) pour intensités de 10 - 20 - 50 ampères.

Les boîtiers sont en alliage d'aluminium cadmié irridié. Ces connecteurs répondent à la spécification marine STCAN 543.558.

CONNECTEURS RADIO AIR SÉRIE TEI

Ces connecteurs répondent à la spécification américaine MIL-C-12520. Ils sont exécutés en 5 dispositions de contacts : 4 - 9 - 14 - 19 - 30.

Ils sont étanches sous 2 mètres d'eau, inoxydables et peuvent être utilisés en campagne dans les conditions les plus difficiles.

Ils sont très facile d'emploi grâce à l'enfichage par vis centrale.



CONNECTEURS SOCAPEX SÉRIE F

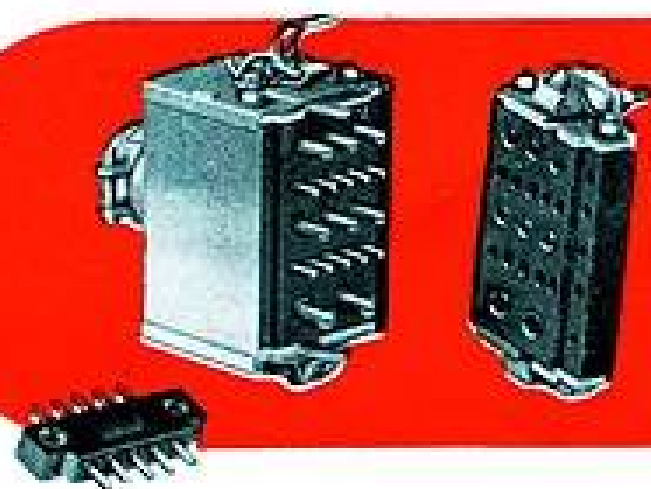
Ces connecteurs sont utilisés pour des raccordements de racks à tiroirs ou à charnières et se font en 3 types : 5 - 10 - 15 contacts pour une intensité de 5 ampères.

Ces mêmes connecteurs montés sous des capots en alumag moulé sous pression offrent une nouvelle série, de 5 - 10 - 15 - 20 - 30 contacts, équipée de sorties pour câbles plats ou ronds.

CONNECTEURS SOCAPEX SÉRIE S M

Les éléments de base, du type miniature, peuvent être utilisés séparément. Ils existent en 2 - 3 - 5 contacts pour intensités de 25 - 15 - 5 ampères. Ils sont empilables et permettent grâce à une série de 7 boîtiers de réaliser 30 combinaisons de contacts différentes.

AUTORISATION D'EMPLOI. Série N° 39.957 STAJE



BOUTONS DE COMMANDES

Boutons Socapex. Le type GO 50 m/m, le type PO. 25 m/m sont réalisés en alumag traité inoxydable. La manette de commande est escamotable. Ils se fixent sur un axe de 6 m/m par une vis centrale.

Boutons Radio-Air. Les 4 types de 30 - 35 - 55 - 80 m/m sont en bakélite noire, avec ou sans flèche et se fixent sur un axe de 6 m/m.



DEMANDEZ notre documentation

Dans le temps K correspondant à un parcours moyen p , l'énergie absorbée devient :

$$\Delta E = (-a - \mu p) E$$

On en tire : $E = E_0 e^{(-a - \mu p) t}$

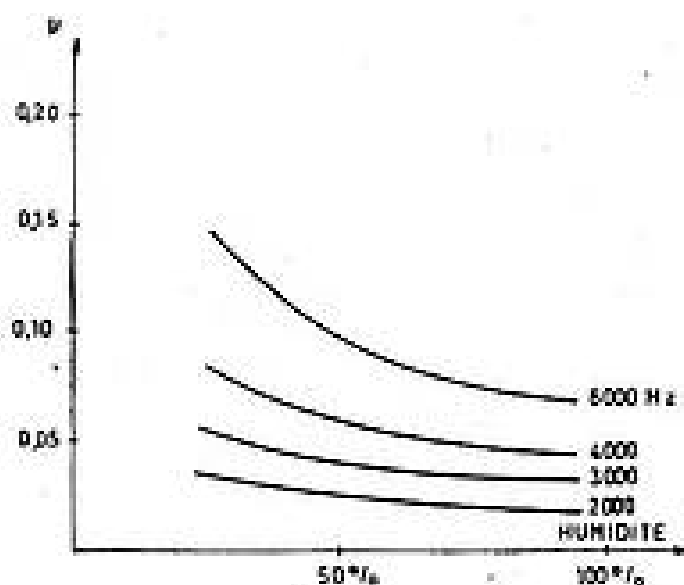


FIG. 20

b) La formule d'EYRING devient :

$$E = E_0 (1 - a) \frac{S_{12}}{4V} e^{-\gamma_{12} t}$$

c) La formule de MILLINGTON subit la même modification.

d) Conséquence : la décroissance est naturellement plus forte que prévue.

Dans un grand auditorium, à la fréquence de 4 000 hertz, cet élément d'absorption peut entrer pour 25 % de l'énergie totale : il n'est donc pas négligeable.

5. La formule d'AIGNER exprime la puissance W nécessaire pour obtenir dans une salle un niveau d'intensité N décibels donnée — en régime permanent.

Si E est l'énergie moyenne par cm^3 de la salle, la quantité totale absorbée (donc produite) par seconde sera évidemment :

$$W = \frac{1}{K} a E V = \frac{\Omega}{p} a E V$$

D'où

$$W = 13,8 \cdot E \cdot \frac{V}{T_r}$$

Comme $N = 10 \log \frac{E}{E_0}$

et que $E_0 = 10^{-16}$ watts = 10^{-9} ergs/s (unité CGS)

on en tire : $E = 10^{\frac{N-90}{10}}$

En transformant 13,8 en une puissance de 10, on obtient :

$$W = \frac{V}{T_r} \cdot 10^{\frac{N-74}{10}} \quad (\text{Formule d'Aigner})$$

W étant exprimé en microwatts

V en m^3

T_r en secondes

N en décibels.

Exemple :

1° Lorsque 10 violons développant chacun une puissance de 6 000 μW jouent dans une salle de 2 000 m^3 de $T_r = 1,14$ s, le niveau sonore obtenu sera :

$$N = 100 \text{ dB (fortissimo)}$$

2° Inversement, pour obtenir un niveau sonore de 74 dB dans une salle de 1 000 m^3 dont le $T_r = 1$ s, il faut développer une énergie :

$$W = 1\,000 \mu W$$

2.2.3. — NATURE DE L'ABSORPTION DU SON.

2.2.3.0. — Généralités.

1. Les formules de SABINE, EYRING et MILLINGTON expriment une relation entre le temps de réverbération T_r et l'absorption a ou les absorptions a_i des parois.

Pour modifier la réverbération d'une salle, il faut et il suffit de modifier cette ou ces absorptions : encore convient-il d'en connaître le mécanisme aussi approché que possible.

2. L'absorption du son par les parois peut provenir de 2 causes principales :

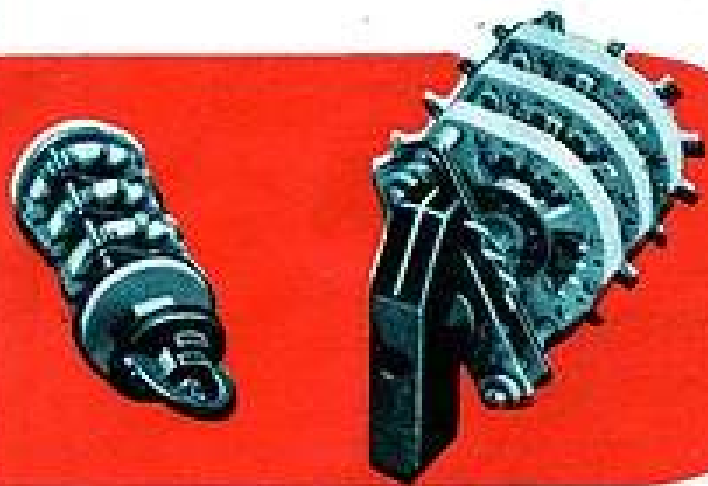
a) La transparence de la paroi au son : une partie de l'énergie sonore « quitte » la salle. Ce phénomène ne se produit, en pratique, que pour des énergies sonores importantes, en raison de l'isolement des salles ; il est en général accessoire ;

b) La transformation de l'énergie acoustique en chaleur, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une vibration mécanique.

3. On utilise actuellement 3 procédés d'absorption du son :

a) L'absorption par matériaux poreux : la transformation en chaleur se fait dans les pores des matériaux, par un frottement visqueux des petits éléments d'air que contiennent ces pores ;

b) L'absorption par panneaux fléchissants : sous l'action de l'onde sonore, les panneaux entrent en vibration ; cette vibration provoque des déforma-



COMMUTATEURS

Les commutateurs sont réalisés en 3 types :

Type G	- 3	Ampères	- Entraxe	95 m/m.
* P	- 0,6	* - *	* - *	51 m/m.
* M	- 0,05	* - *	* - *	30 m/m.

Les galettes sont en stéatite HF émaillées et siliconées. Le type P peut être également monté avec des galettes en bakélite HF. Le type M est étanche.

MICROPHONES ET COMBINÉS

Les microphones à main, sur pieds, sur flexible, les combinés téléphoniques avec pédale d'alternat peuvent être équipés de pastilles microphoniques au charbon, magnétiques ou différentielles. Impédances : de 5 à 70 ohms à 1000 pps.

Ces matériels sont homologués interarmes et RTF.



CASQUES A ÉCOUTEURS

Les casques à arceaux porte-écouteurs sont équipés de pastilles magnétiques, dont l'impédance peut varier de 7,5 à 3500 ohms à 1000 pps. Les fourches coulissantes permettent un réglage parfait sur la tête de l'utilisateur.

La conception même du casque autorise le montage instantané d'un microphone-rail.

Ces matériels sont homologués interarmes et RTF.



CASQUES DE PROTECTION

Le casque de protection type 403 se compose :

- 1° d'une calotte protectrice en stratifié;
- 2° d'un serre-tête porte-écouteurs équipés d'écouteurs extra-plats d'une impédance totale de 600 ohms.

Le microphone-rail peut être monté indifféremment sur la calotte ou sur le serre-tête.

Ce matériel est autorisé d'emploi.



DEMANDEZ notre documentation

SOCAPEX - 9, Rue Édouard Nieuport, SURESNES (Seine)

LONGCHAMP 20-40 / 41 / 42

tions à la fois aux points d'attache des panneaux et à l'intérieur même du solide le constituant. D'où dégagement de chaleur, amortissement et perte d'énergie à la réflexion ;

c) *L'absorption par résonateurs* : ces résonateurs disposés contre les parois sont à demi remplis d'un produit absorbant poreux qui amortit la résonance et provoque également une perte d'énergie à la réflexion.

2.2.3.1. — Absorption par matériaux poreux.

0. Les matériaux poreux sont caractérisés par le fait que la matière solide n'occupe qu'une partie de leur volume total ; les intervalles remplis d'air étant étroits et communiquant entre eux.

1. On n'a bien entendu qu'une idée fort approximative de la propagation du son dans ces matériaux qui sont hétérogènes.

Toutefois en appliquant la théorie de la propagation du son dans les matériaux visqueux, on peut en déterminer le mécanisme général.

On sait que, dans un produit visqueux, l'affaiblissement est de la forme $e^{-\alpha l}$,

α étant un coefficient proportionnel à la viscosité cinématique et au carré de la fréquence ;

l étant la longueur.

On en conclut qu'au cours de sa propagation en milieu poreux, l'onde s'affaiblit d'autant plus vite que la fréquence est plus grande et d'autant plus que l'épaisseur du matériau est plus forte.

Reste à définir un coefficient qui puisse se comparer à la viscosité cinématique ; c'est extrêmement délicat, en raison de la nature hétérogène du matériau.

2. Cherchons quelle est l'absorption d'un produit poreux à la réflexion.

Soit un élément plan fixé contre un mur et un rayon sonore incident IS (fig. 21).

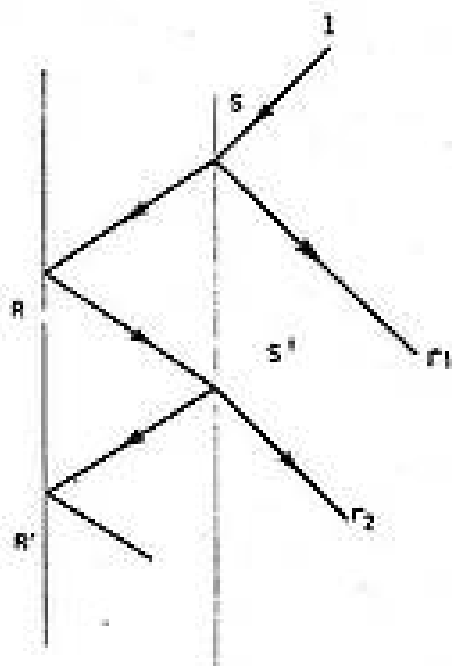


FIG. 21

En arrivant en I , par suite du phénomène de *désadaptation*, une partie de l'énergie se réfléchit suivant Sr_1 ; une partie se réfracte suivant SR . Nouvelle réflexion en R et nouvelle réfraction en S' .

En bref, il sort du matériau poreux une énergie portée par les rayons Sr_1 , $S'r_2$, $S''r_3$, etc...

Comment la déterminer ?

RAYLEIGH en a fait un calcul approximatif, repris et complété par CRANDALL : au terme de ce calcul, il devrait y avoir au moins 17 % d'énergie réfléchie. Les expériences ne confirment pas ce résultat, de nombreux produits poreux donnant des absorptions supérieures à 83 %.

ZWIKKER puis MONNA ont repris les calculs et, en faisant des hypothèses fort complexes, donné une théorie qui paraît plus proche de la réalité que celle de RAYLEIGH-CRANDALL. Mais aucune vérification concluante n'ayant été faite, nous ne pensons pas utile de faire autre chose que la mentionner.

3. Les expériences mettent toutefois en évidence une *absorption sélective à la réflexion* caractérisée par les propriétés suivantes :

a) *L'absorption est plus élevée aux hautes fréquences qu'aux basses fréquences.* — Ce qui s'explique facilement par la moindre adaptation du matériau aux fréquences graves. En effet, la dimension des pores qui est de l'ordre généralement de quelques dixièmes de millimètres correspond à des longueurs d'onde très courtes ; on devrait même théoriquement rencontrer un *maximum d'absorption* pour ces longueurs d'onde ou les longueurs d'onde sous-multiples : c'est ce qu'indiquent certains auteurs qui donnent pour les matériaux poreux des courbes d'absorption du type ci-contre (fig. 22).

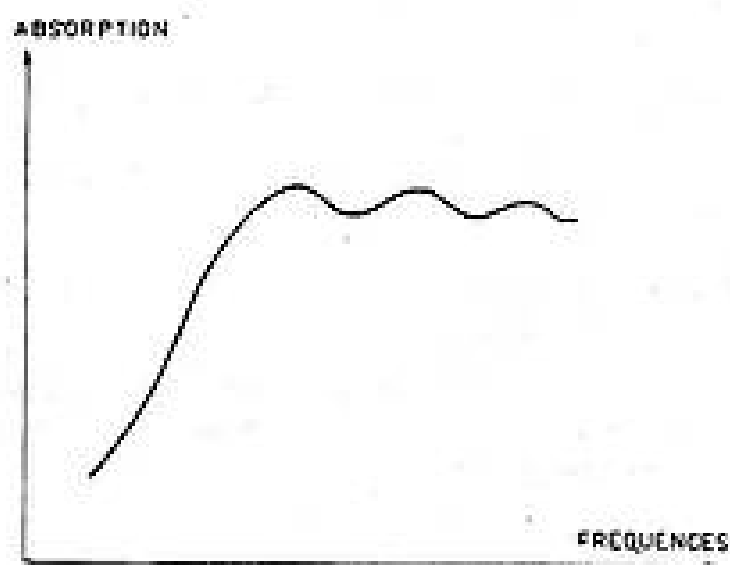


FIG. 22

b) *L'absorption des fréquences aiguës est à peu près indépendante de l'épaisseur du matériau.*

L'absorption des fréquences basses croît avec l'épaisseur du matériau.

Ce phénomène est dû simplement au fait que, pendant la propagation à l'intérieur du matériau, les ondes aiguës sont absorbées beaucoup plus vite que les ondes graves.

prises de courant pour appareillage électronique



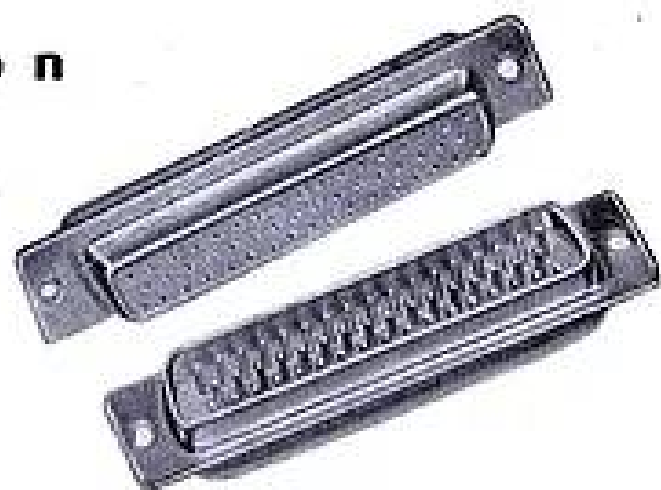
TYPE 140-37 ÉTANCHE POUR CIRCUITS EXTÉRIEURS

Verrouillage et déverrouillage
automatiques - 3 dimensions de
boîtier: 4 - 8 - 11 broches
Partie fixe et partie mobile sont
indifféremment mâle ou femelle.



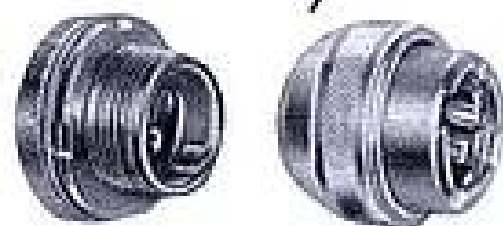
TYPE 140-35

4 dimensions de boîtier
6 dispositions de broches
2 à 19 broches



TYPE SUB-MINIATURE CANNON

Pour circuits intérieurs - 4 dimen-
sions de boîtiers - 15 à 50 broches



TYPE MINIATURE PLESSEY ÉTANCHE

Pour circuits extérieurs
10 dimensions de boîtier
Supporte haute tension: 2 KV
2 à 25 broches

Licence Plessey et Cannon

LES PRISES DE HAUTE QUALITE

SOURIAU & C^{IE}

9 - 13 RUE GALLIÉNI BILLANCOURT (SEINE) - MOL. 67.20

Il suffit en fait d'une faible couche pour absorber totalement les ondes réfractées aiguës ; au contraire l'absorption des graves croît avec l'épaisseur de la couche.

4. Les résultats expérimentaux confirment les indications données ci-dessus. Parmi les milliers de chiffres trouvés par les chercheurs du monde entier, nous nous contenterons d'en donner quelques-uns recueillis par le Laboratoire d'Acoustique de la R.T.F. Grâce au luxe de précautions prises, ils sont certainement plus valables que beaucoup d'autres et notamment que ceux indiqués dans la plupart des livres classiques, malgré leur indéniable intérêt historique (fig. 23).

c) L'étoupage produit l'effet inverse.

De façon générale, les matériaux poreux sont d'autant plus absorbants et régulièrement absorbants qu'ils sont moins solides et moins résistants. D'où la difficulté de leur mise en œuvre.

d) La peinture des matériaux poreux, en bouchant les pores, peut entraîner un affaissement considérable de l'absorption.

La décoration entraîne aussi des variations d'absorption.

e) Enfin la façon dont les matériaux poreux sont mis en œuvre (notamment la rapidité de séchage des peintures) joue un rôle important.

Matériau	Coefficients d'absorption aux fréquences							Observations
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	6 000 Hz	
I. - Laine de verre épaisseur 25 mm	0,16	0,48	0,92	1,02	0,97	0,97		Les coefficients ont été mesurés par la méthode dite de la chambre de réverbération (voir ci-dessous) et calculés en fonction du T_r trouvé à partir de la formule de Sabine, ce qui explique des valeurs supérieures à 1.
II. - Laine de verre épaisseur 50 mm	0,40	0,59	0,9	1,02	0,97	0,97		
III. - Fentre épaisseur 30 mm	0,13	0,29	0,67	0,99	1,05	0,92		
IV. - Liège aggloméré épaisseur 50 mm	0,05	0,14	0,33	0,57	0,57	0,59	0,63	

5. Outre l'accroissement de l'absorption aux fréquences basses, dû à l'augmentation d'épaisseur du matériau, on peut modifier cette absorption par des procédés physiques.

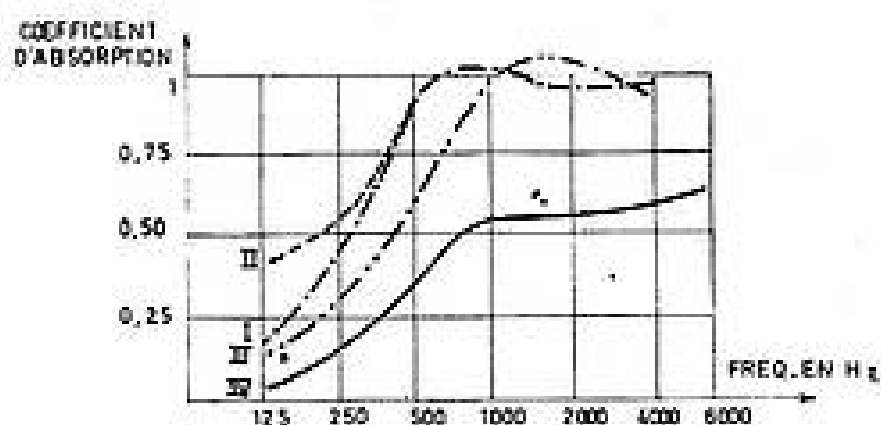


FIG. 23

Nous n'en donnerons que quelques idées simples :

a) SABINE a montré que le pointillage augmente l'absorption ; c'est dû simplement à une plus grande densité de pores au cm^2 ;

b) La compression diminue l'absorption aux basses fréquences ; résultat d'une diminution du diamètre des pores.

6. En sus de leurs qualités acoustiques indispensables, il faut tenir compte dans le choix des matériaux poreux d'un certain nombre de propriétés qui sont les suivantes :

a) Leur consistance.

Les absorbants se présentent généralement sous forme de plaques ou de peintures, qui ne doivent pas s'effriter rapidement.

b) Leur stabilité tant mécanique qu'acoustique. Variation possible des propriétés de certaines peintures avec le temps ;

c) Leur facilité d'application : plaques clouées ou collées, peintures passées au pinceau ou projetées au pistolet ;

d) Leur incombustibilité ;

e) Leur propreté, leur attirance des vermines ;

f) Leur aspect et leurs possibilités décoratives.

7. Les matériaux poreux utilisés en revêtements muraux sont :

— les plâtres poreux, dont la pose doit être particulièrement soignée, mais dont l'absorption, bien que régulière est assez faible.

TUBES RADARS

KLYSTRONS A CAVITÉ INTERNE

Type	Tension Réflecteur	Débit max.	Largeur de bande (à 1/2 puissance aux extrémités)	Mode	Fréquence (Mc)
6468	-250 to 400 volts	70 ma. max.	34 mc.	3 $\frac{1}{2}$	6125-6425
6469	-250 to 400 volts	70 ma. max.	34 mc.	3 $\frac{1}{2}$	6575-6875
6470	-250 to 400 volts	70 ma. max.	34 mc.	3 $\frac{1}{2}$	7125-7425

KLYSTRONS A CAVITÉ EXTERNE

Type	Tension Réflecteur	Électrode de contrôle	Tension Résonateur	Courant cathode	Mode	Fréquences (Mc)
60H.6 Klystron	-15 to -750 volts	+1 volt max. -500 volts max.	350 volts max.	25 ma. approx. typical	1 $\frac{1}{2}$ 2 $\frac{1}{2}$ 3 $\frac{1}{2}$	1600-4000 2100-4500 3600-6500
60HM.6 Klystron	-15 to -700 volts	+1 volt max. -500 volts max.	350 volts max.	20 ma. approx. typical	1 $\frac{1}{2}$ -2 $\frac{1}{2}$ 3 $\frac{1}{2}$	550-2400 1100-3000 1500-3800
58.56 Klystron	-15 to -700 volts	10 volts for typical cw operation.	350 volts max.	25 ma. approx. typical	1 $\frac{1}{2}$ 2 $\frac{1}{2}$ 3 $\frac{1}{2}$	1600-4000 2100-4500 3600-6500
58.57 Klystron	-15 to -700 volts	10 volts for typical cw operation.	350 volts max.	28 ma. approx.	1 $\frac{1}{2}$ 2 $\frac{1}{2}$	550-2400 1100-3000
60HM.6A Klystron	-15 to -700 volts	+1 volt max. -500 volts max.	350 volts max.	20 ma. approx.	2 $\frac{1}{2}$	1100-3000

MAGNÉTRONS

Type	Bande de fréquence (Mc)	Puissance utile de sortie max. (Kw)	Puissance moyenne de sortie max. (Watt)
2042	9.145-9.605	14	14
2055	9.145-9.605	40	40
4017	9.145-9.605	18	18
4150	9.145-9.605	225	225
4152	9.145-9.605	65	65
4178	9.001-9.658	225	225
5289	11.512-15.208	32	8
6002	9.130-9.605	250	250

THYRATRONS A HYDROGÈNE

Type	Tension entre Anode (KVolt)	Courant entre anode (Amp.)	Courant anode moyen
8C15	8 KV max.	90 amps. max.	100 ma. max.
5C22	16 KV max.	125 amps. max.	200 ma. max.
5949/1007	25 KV max.	500 amps. max.	500 ma. max.
5948/1074	25 KV max.	1000 amps. max.	1.0 amp. max.

TUBES T.R. ET A.T.R.

Type	Bande de fréquence (Mc)	Perte (centre de la bande) (db)	Durée de rétablissement (4 sec. max.)	Taux d'ondulation (centre)	Pertes (Mw max)	Durée de vie (min.) heures
1050	1045-1155	1.0	50	...	50	500
6122	1.215-1.355	1.0	25	...	60	500
1058	2650-2960	0.5	15	1.2	0.4 erg.	500
6117	2650-2960	0.5	15	1.65	40	500
5853	2870-3290	0.7	15	1.4	0.4 erg.	500
5927	3010-3530	0.7	15	1.4	50	500
1055	3550-3780	0.7	15	1.4	40	500
5865	5.195-5.905	0.8	10	1.4	70	500
5868	8.490-9.578	0.7	8	1.6	30	500
6232	8.490-9.578	0.7	4	1.4	40	500
1026A	8.490-9.600	1.5	4	...	30	500
1063A	8.490-9.578	0.7	10	1.4	40	500
1063B	8.490-9.578	0.7	10	1.4	40	500
6015	8.490-9.578	0.7	4	1.4	40	500
6164	8.500-9.600	0.7	4	2.0	30	500
6018	8.970-9.500	Duplicate Loss = 1.0-2.5	7	1.2	10	500
6545	33.814-35.906	2.5	4	...	30	500
5790	33.814-35.906	2.0	4	...	30	500

Type	Fréquence centrale (Mc)	Susceptance (mbhos)	Conductance équivalente (max.)	Perte (db. max.)
11144	2750	± .05	.05	...
6024	2800	± .05	.05	...
11156	2850	± .05	.05	...
5792	2950	± .05	.05	...
5793	3050	± .05	.05	...
5921	3700	± .05	.05	0.8
5922	3400	± .05	.05	0.8
6081	5600	± .06	0.1	0.8
6151	6425	± .06	0.1	0.5
6173	8750	± .06	0.1	0.8
6185	8750	± .06	0.1	0.8
6186	8500	± .06	.06	0.6
6187	9050	± .06	.06	0.8
6188	9100	± .06	0.1	0.8
6189	9100	± .06	0.1	0.8
6214	9175	± .06	0.1	0.8
6546	34.860	± .07	0.15	0.9
5791	34.860	± .07	0.15	0.7

SYLVANIA ÉLECTRIC



CONCESSIONNAIRE
RADIO TÉLÉVISION FRANÇAISE - 29, RUE

EXCLUSIF FRANCE U. F.
D'ARTOIS - PARIS - TÉL. BAL. 42-35 ET 36

— les *feutres*, très absorbants, mais d'aspect peu agréable et aussi difficiles à décorer qu'à tenir propres ;

— les *plaques en fibres ligneuses* ;

— les *peintures*, à base d'*amiante* ou d'un produit similaire, souvent de belle apparence, mais assez friables ;

— des *produits spéciaux*, comme le coton, la laine ou la soie de verre diversement traitée, des cartons à base de mica plus ou moins expensé, etc...

A ce jour, (1956), il n'existe aucun matériau poreux type universel.

2.2.3.2. — Absorption par panneaux fléchissants.

1. On appelle panneaux fléchissants des panneaux souvent en bois, mais pouvant être également en d'autres matériaux élastiques, portés (cloués ou collés) par des fourrures F et séparés du mur de la salle par une couche d'air e (fig. 24).

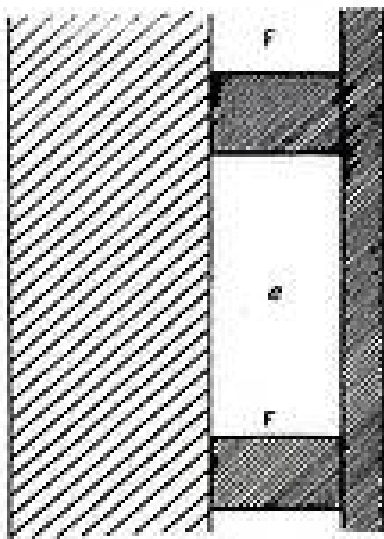


FIG. 24

Sous l'action d'une onde sonore, ces panneaux absorbent de l'énergie et se mettent à vibrer.

Si l'on s'arrange pour que cette énergie soit retenue dans la cloison ou derrière la cloison par un procédé quelconque, on réalise une *absorption par panneaux fléchissants*.

2. Soit r le coefficient de frottement de la cloison (qui correspond à une dégradation de l'énergie mécanique en chaleur), m la masse unitaire de la cloison, s la raideur du système vibrant ; on sait que l'énergie absorbée par un tel système — en l'assimilant en première approximation à un oscillateur à un degré de liberté — est de la forme :

$$\frac{r f^2}{r^2 + \left(m\omega - \frac{1}{s\omega}\right)^2}$$

f étant la force appliquée.

On en tire immédiatement les propriétés essentielles de l'absorption par panneaux vibrants :

— *Étalement de l'absorption d'autant plus grand que r est plus grand.*

— *Absorption maxima pour la fréquence de résonance.*

$$N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{ms}}$$

3. La grandeur de cette absorption dépend essentiellement de r . On fait varier r :

— en *modifiant l'encastrement* du panneau : on s'arrange pour réaliser en pratique des encastrements à frottement énergique.

— en plaçant *derrière* la paroi fléchissante (dans le vide d'air qui la sépare du mur) un matériau poreux (par exemple une peinture absorbante ou une couche de laine de verre) : l'action de ce matériau est de modifier la *qualité amortissante* de la couche d'air placée entre le panneau et le mur et par conséquent d'accroître r .

4. La possibilité de faire *varier* facilement r , m et s dans de larges limites donne une grande marge de combinaisons possibles :

a) On peut placer sur les murs, une *série* de panneaux, d'épaisseurs, de dimensions et d'écartement du mur variés.

On obtient alors une série de courbes d'absorption à maximum, l'effet total étant particulièrement étalé.

b) On peut ainsi introduire derrière certains de ces panneaux des produits absorbants différents et d'épaisseurs variées.

c) On peut combiner ces 2 procédés et obtenir une *grande diversité dans la forme des courbes d'absorption réalisées*.

5. Les résultats expérimentaux mettent en évidence une *chute systématique de l'absorption aux fréquences aiguës*, ce qui ne nous surprendra pas, mais ce qui montre qu'en pratique, le poids des panneaux réellement utilisables, n'est pas compatible avec une résonance aux aiguës : on ne pourra donc pas se contenter d'utiliser des panneaux fléchissants, si l'on veut absorber les aiguës.

Ci-dessous 2 groupes de résultats obtenus au Laboratoire de la R.T.F. (fig. 25).

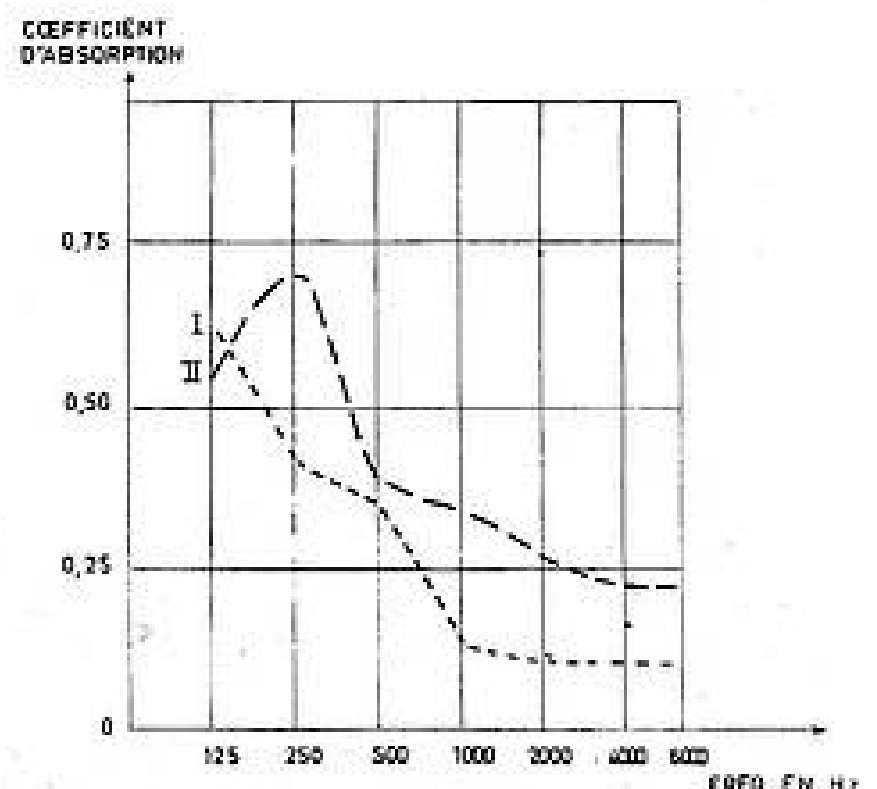
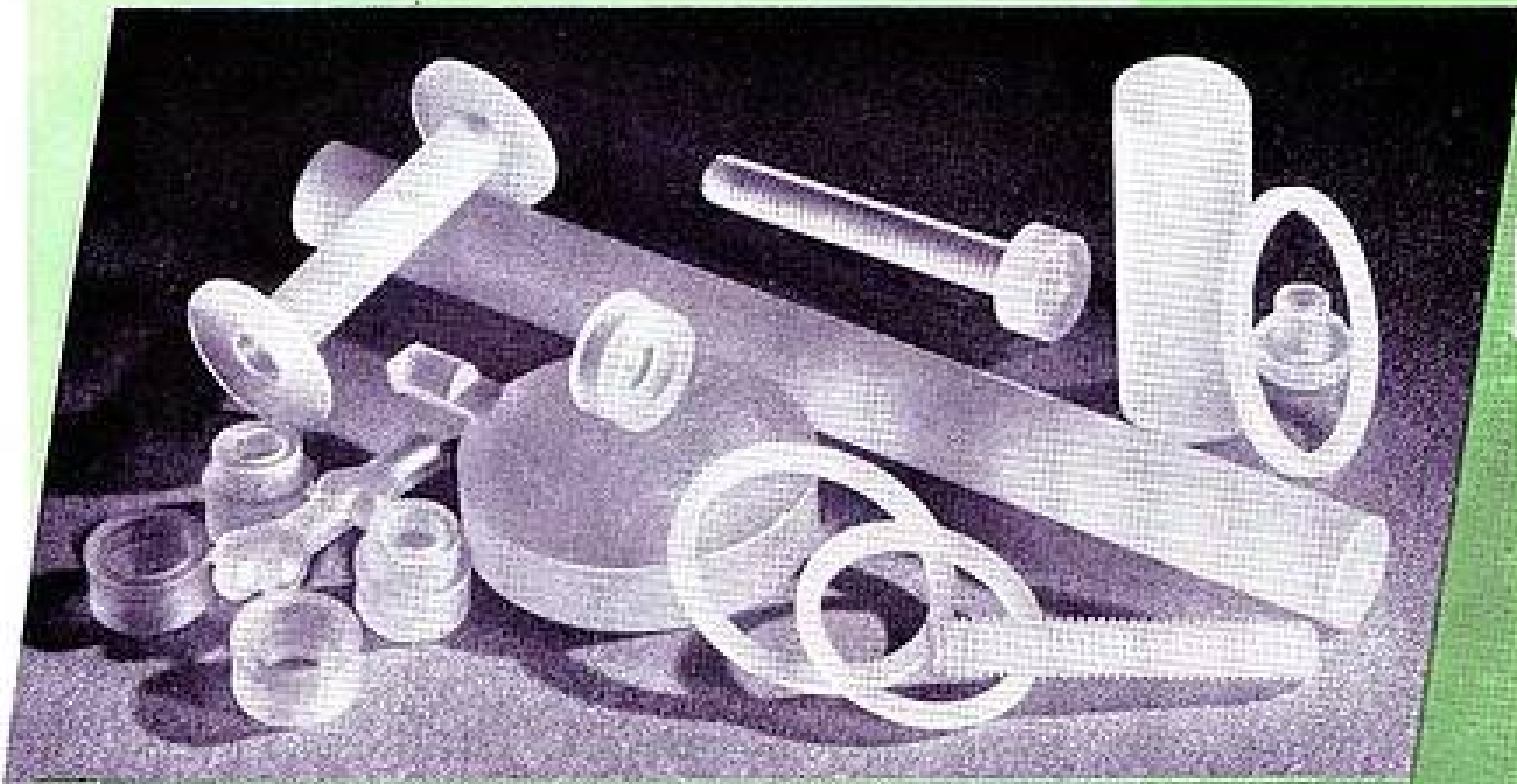


FIG. 25

AG. Publiélec - Domenech

AU SERVICE DE L'ÉLECTRONIQUE DEUX ISOLANTS EXCEPTIONNELS



HOSTAFLON

LIMITES
D'EMPLOIS
-30° à +160° C
EXCELLENT
POUVOIR ISOLANT
TRÈS BONNE
RÉSISTANCE
AUX AGENTS
CHIMIQUES
HYDROFUGE
QUALITÉS
MÉCANIQUES
REMARQUABLES



TEFLON

STABLE ENTRE
-80° et +280°C
—
POUVOIR ISOLANT
UNIQUE
—
CHIMIQUEMENT
INERTE
—
ANTI-ADHÉSIF
—
HYDROFUGE

P. VIENNOT

SPECIALISTE DES

PLASTIQUES INDUSTRIELS

* USINAGE
* EXTRUSION
* MOULAGE

73, RUE DE LA VALLÉE DU BOIS - CLAMART (SEINE) * TÉL. MIC. 43-25

Matériau	Coefficients d'absorption aux fréquences						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	6 000 Hz
I. - Contreplaqué d'épaisseur 5 mm à 50 mm du mur	0,63	0,42	0,35	0,12	0,10	0,10	0,10
II. - Peaux de Klegecell à 50 mm du mur (amortissement à la laine de verre)	0,53	0,68	0,38	0,35	0,27	0,22	0,22

Observation : Le Klegecell est un produit synthétique dont l'aspect rappelle le caoutchouc mousse.

2.2.3.3. — Absorption par résonateurs.

1. Les résonateurs peuvent être constitués :

— soit par des caissons parallélépipédiques fixés au mur et percés sur leur face avant d'une ouverture circulaire ou carrée, faisant office de col : bien entendu, l'absorption est provoquée par une couche de produit poreux très absorbant (coton ou laine de verre) placé au fond du résonateur sur environ $1/2$ à $2/3$ de son épaisseur ; ces résonateurs fonctionnent de façon autonome indépendamment l'un de l'autre (fig. 26) ;

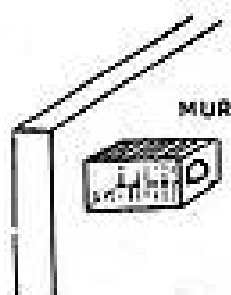


FIG. 26

— soit par la pose à quelques centimètres du mur d'une cloison parfaitement rigide percée de trous ; on peut alors admettre — non sans une certaine approximation — que chacun des trous constitue le col d'un résonateur, tous ceux-ci étant accolés et sans séparation ; bien entendu, l'absorption est provoquée par l'existence contre le mur, d'une couche aussi épaisse que possible de produit poreux très absorbant (fig. 27).

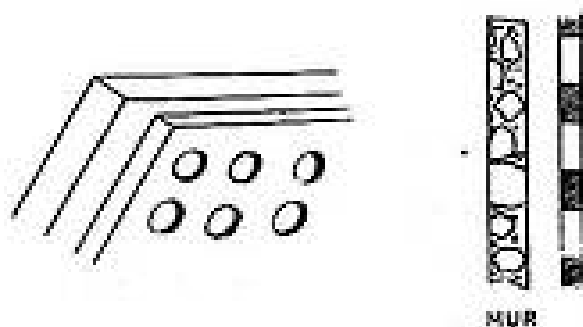


FIG. 27

2. M. J. BRILLOUIN a publié dans les cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment de Janvier 1949 une très intéressante étude théorique sur les structures (rigides) à panneaux perforés.

Nous nous contenterons d'en résumer très brièvement les résultats : l'absorption dépend de l'angle d'incidence, de la fréquence d'incidence et des paramètres caractéristiques de la structure qui sont essentiellement : sa résistivité acoustique, sa fréquence de résonance et son épaisseur.

A retenir essentiellement :

a) L'absorption moyenne (ce que M. J. BRILLOUIN appelle en régime diffus) quand le son arrive sur le panneau sans direction privilégiée, croît avec la fréquence, passe par un maximum, décroît, passe par un minimum, croît de nouveau, passe par un second maximum, etc...

b) L'absorption moyenne due aux résonateurs séparés et nettement plus élevée et surtout nettement plus régulière que celle due à une paroi rigide perforée.

3. Les résultats obtenus par le Laboratoire d'Acoustique de la R.T.F. par des résonateurs de HELMHOLTZ remplis de laine de verre confirment très nettement les études théoriques de M. BRILLOUIN (fig. 28).

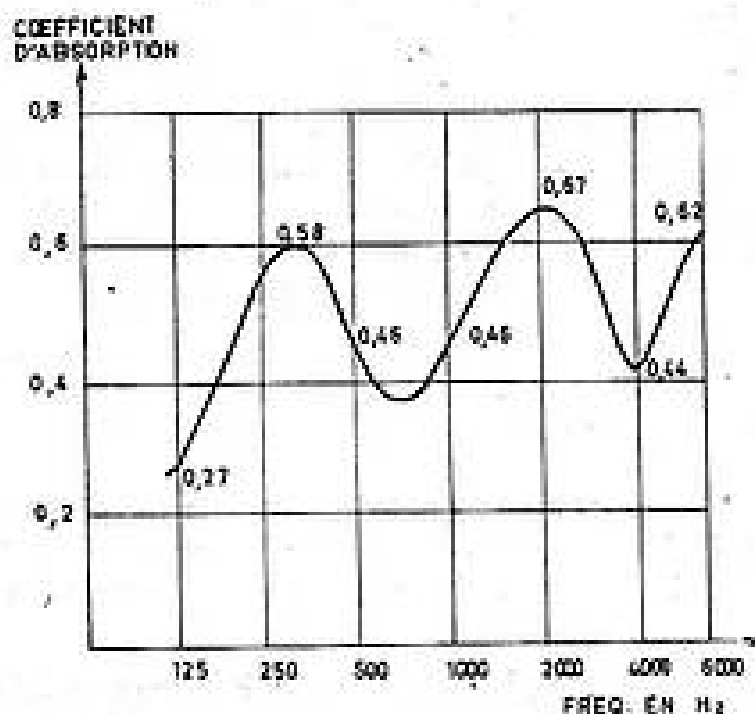


FIG. 28

La marque de l'excellence en tubes électroniques de puissance

	VALEURS MAXIMUM						CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES			
	Dissipation Plaque Watts	Tension Plaque	Courant Plaque Milliampères	Dissipation Grille Watts	Tension Grille Watts	Dissipation de Coque Watts	Tension Filament Volts	Écart Filament Ampères	Gain	Transconductance MHz
4-65A	65	3000	150	5	400	10	6	3.5	5	6000
4-125A	125	3000	225	5	400	20	6	6.5	5.9	2450
4-250A	250	4000	350	10	500	35	6	11.5	5.1	4000
4-400A	400	4000	500	10	600	50	6	18.5	5.1	6000
4-1000A*	1000	6000	700	20	1000	75	6	28	5	10,000
TÉTRODES										
4P900A*	65	20,000	1	1	1500	8	26	2.25	1	1
4W3000**	300	1250	750	1	300	17	6	2.6	5	12,000
4W40000A**	20,000	8000	15,000	60	1700	200	10	30	5.5	75,000
4X150A**	150	1250	750	1	300	12	6	2.6	5	12,000
4X150C*	150	1250	750	1	300	12	26.5	2.9	5	12,000
4X150E*	150	1250	750	1	300	12	2.5	6.25	5	32,000
4X150F*	150	1000	750	1	300	12	6.0	2.1	5	12,000
4X150G*	150	1000	750	1	300	12	28.5	0.58	5	12,000
4X150H*	150	1000	750	1	300	12	14.5	0.47	5	12,000
4X300A**	300	4000	750	10	600	20	3	13.5	6.2	5200
4X300E**	300	4000	750	10	600	20	5	13.5	6.2	5200
4X300A*	3000	7000	2500	25	1500	...	7.5	7.5	5	35,000
TRIODES										
2C14A*	100	1000	125	2	...	...	6.3	8	100	22,000
2C14B*	100	1000	125	2	...	...	6.3	8	100	22,000
2C15*	75	2000	75	2	...	...	6.3	8	28	2500
2C17*	500	30,000	1	1	...	...	6.2	17	30	30,000
2W3000A**	3000	6000	2500	150	...	...	7.5	51	20	20,000
2W3000B**	3000	6000	2500	150	...	...	7.5	51	20	20,000
2W40000A**	20,000	5000	10,000	100	...	...	10	30	20	55,000
2X150A**	150	6000	2500	150	...	...	7.5	51	20	20,000
2X150F**	150	6000	2500	150	...	...	7.5	51	20	20,000
3X1000A**	3000	6000	2500	50	...	...	7.5	51	5	18,000
3X1000F**	3000	6000	2500	50	...	...	7.5	51	5	18,000
3AT	25	2000	75	2	...	...	6.3	8	28	2500
3BT	50	2000	150	15	...	...	5	4	28	2500
3CT	50	2000	150	15	...	...	5	4	28	2500
6BT6	75	3000	325	16	...	...	5	6.75	20	4150
75TL	75	3000	325	16	...	...	5	6.25	22	3150
100TH	100	3000	325	20	...	...	5	6.3	28	4500
100TL	100	3000	325	16	...	...	5	6.3	28	3000
100TH	150	3000	450	20	...	...	5 or 10	12.5 or 6.25	20	9300
150TL	150	3000	450	25	...	...	5 or 10	12.5 or 6.25	12	2150
250TH	250	4000	750	40	...	...	5	10.5	37	5600
250TL	250	4000	750	25	...	...	5	10.5	38	2650
300TH	300	3000	900	50	...	...	5 or 10	25 or 12.5	20	18,200
350TL	300	3000	900	50	...	...	5 or 10	25 or 12.5	12	18,200
450TH	450	4000	600	80	...	...	7.5	12	26	6650
450TL	450	4000	600	80	...	...	7.5	12	18	5000
500-3-200A	200	3500	750	75	...	...	10	5	25	3000
750TL	750	10,000	3000	100	...	...	7.5	20	15	1500
950T	1000	7500	750	80	...	...	7.5	15.5	25	9000
1500T	1500	8000	1250	125	...	...	7.5	24	24	10,000
2000T	2000	8000	1750	150	...	...	10	23.5	23	11,000
PENTODES										
4E25A 5-125B	125	4000	200	5	750	20	5	7.5	5	2150
	Bande de Fréquence MHz	Dissipation Collectrice Watts	Tension Filament	Courant Filament Ampères	Niveau de Synchronisation Grille IV	Amplificateur de Puissance				
3K1000LQ*	350-1000	5000	8000	15	...	3000				
3K1000LA**	450-1500	20,000	14,000	1.7	...	3000				
3K1000LB**	500-1700	20,000	14,000	1.7	...	3000				
3K1000LC**	700-850	20,000	14,000	1.7	...	3000				
3K1000LD**	450-1500	50,000	19,500	2.56	...	10,000				
3K1000LE**	500-1700	50,000	19,500	2.56	...	10,000				
3K1000LF**	700-850	50,000	19,500	2.56	...	10,000				
3K1000LG**	850-1000	50,000	19,500	2.56	...	10,000				
3K1000LH**	1100-1400	3000	3000	0.515	...	1250				
3K1000LI**	175-570	1000	8000	0.58	...	2000				
3K1000LJ**	200-1000	3000	8000	0.58	...	2000				
3K1000LK**	375-870	3000	8000	0.58	...	2000				
3K1000LL**	100-1000	50,000	20,000	2.3	...	17,000				
	Tension Courant Récepteur	Dissipation Récepteur	Courant Cathode	Tension Cathode Réflexive	Tension de Chauffage	Courant de Chauffage	Bande de Fréquence			
1K1000A	300	15	45	0 to -500	6.3	0.30	3700-9400			
1K1000C**	300	15	45	0 to -500	6.3	0.30	3700-9400			

REDRESSEURS		TYPES À VIDE POUSSÉ			
TYPE	TENSION FILAMENTS	COURANT FILAMENTS AMPÈRES	TENSION CRITE	COURANT CRITE	COURANT MOYEN DE PLAQUE MILLIAMPÈRES
2-00C	6.3	0.4	1.000	0.010	...
2-25A	6.3	3.0	25.000	1.0	50
2-50A	5.0	4.0	30.000	1.0	75
2-150D	5.0	15.0	30.000	3.0	250
2-300A	7.5	17.0	40.000	4.0	500
2-2000A	10.0	25.0	75.000	12.0	750
250R	5.0	10.5	40.000	2.5	350
250	5.0	10.0	15.000	2.5	375
8000 (200R)	5.0	6.5	40.000	1.5	800
2X1000A**	7.5	2.25	13.000	1.5	1.25
2X3000F*	7.5	91.0	75.000	12.0	3000

TYPES À VAPEUR DE MERCURE					
KY21A	2.5	10.0	81.000	3	750
RX21A	2.5	10.0	81.000	3	750
854A	2.5	5.0	10.000	1	750
870A	5.0	7.5	10.000	5	1250

CONDENSATEURS SOUS VIDE		VARIABLE		FIXE	
TYPE	CAPACITÉ	TENSION DE CRITE R.F.	TYPE	CAPACITÉ	TENSION DE CRITE R.F.
VVC60-20	20-60 mmHf	20-KV	V60-20	6 mmHf	20-KV
	Split Stator		V60-32	6 mmHf	32-KV
VVC2-40-20	5-20 mmHf	40-KV	VC15-20	12 mmHf	20-KV
	Parallel		VC15-32	12 mmHf	32-KV
	20-120 mmHf	20-KV	VC25-20	25 mmHf	20-KV
	Split Stator		VC25-32	25 mmHf	32-KV
VVC4-40-20	10-60 mmHf	40-KV	VC50-20	50 mmHf	20-KV
	Parallel		VC50-32	50 mmHf	32-KV
	40-250 mmHf	20-KV			

SUPPORT DE TUBES REFROIDISSEMENT AIR		TYPE DE TUBE POUVANT ÊTRE UTILISÉ	
	TYPE		
	4X150A/4000	4X150A or 4X150D	
	4X150A/4010	4X150A or 4X150D	
	4-600A/4000	4-600A	
	4-1000A/4000	4-1000A	

SYSTEME DE DISSIPATION THERMIQUE	
TYPE	DIAMÈTRE INTÉRIEUR
HR-1	0.62
HR-2	0.625
HR-3	0.70
HR-4	1.015
HR-5	1.25
HR-6	1.50
HR-7	1.75
HR-8	2.00
HR-9	2.50
HR-10	3.00

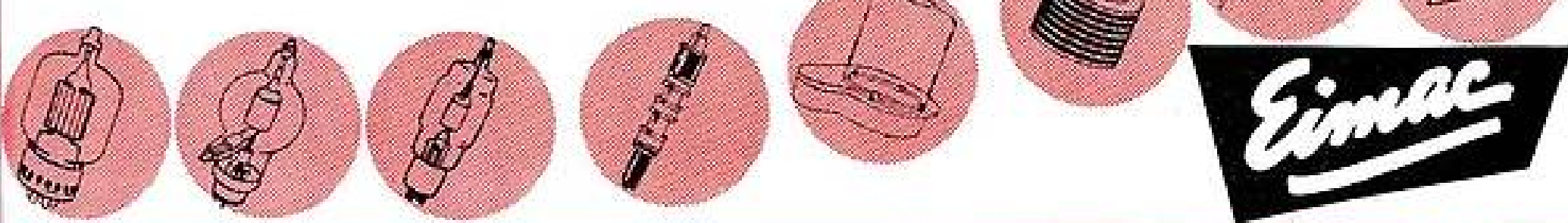
JAUGE D'IONISATION
10010
Jauge de vide électronique (tension Filament 2.5 à 7.5 volts)

INTERRUPTEUR SOUS VIDE
Ce interrupteur à double pôle et à pôle unique offre un vide poussé pour commutation des tubes à vide. Espacement des contacts 0.15". Cet interrupteur VS-2 prendra des potentiels R.F. jusqu'à 20 Kv. Le régime courant continu il assurera seulement le passage de 1.5 Amp. sous 2 Kv.

Celle
12V
20V

4X150 EXTRACTEURS DE TUBE
Un extracteur en acier inoxydable convient pour les tubes type 4x150 A, 4x150 B et 4x150 G.

CONTACTS PRÉFORMÉS
L'extracteur en acier inoxydable possède et conforme en une série de doigts conçus de façon à assurer des contacts précis.



RADIO-ÉQUIPEMENTS DISTRIBUTEUR EXCLUSIF FRANCE & U.F.
PARIS-2^e - TÉL. RIC. 49-88
65, RUE DE RICHELIEU

2.2.3.4. — Absorption par combinaisons de procédés élémentaires.

1. Les produits poreux absorbent les fréquences aiguës ;

Les panneaux fléchissants absorbent les fréquences basses ;

Les résonateurs absorbent des fréquences sélectionnées dans toute la gamme acoustique.

2. On se rend compte qu'en combinant ces 3 procédés que nous appellerons « élémentaires », on peut obtenir telle ou telle courbe d'absorption en fonction de la fréquence que l'on désire.

Ces combinaisons peuvent être de 2 types différents. On peut :

— soit utiliser des panneaux « élémentaires » indépendants et répartis « au mieux » sur les parois ; on se rend compte facilement de la nécessité d'une alternance assez serrée pour éviter une hétérogénéité sonore de la salle ; ce procédé est d'ailleurs très fréquemment employé en pratique ;

— soit utiliser des panneaux mixtes absorbant le son par au moins 2 procédés élémentaires.

Exemples :

— les panneaux poreux posés sur fourrures et absorbant le son à la fois par porosité et par flexion ;

— les panneaux fléchissants percés de trous et absorbant le son à la fois par flexion et par résonance ;

— les panneaux poreux rigides percés de trous, très difficiles à réaliser en pratique ;

— les panneaux poreux fléchissants percés de trous et absorbant par conséquent le son par porosité, flexion et résonance.

3. Notons, pour terminer, l'emploi récent des peaux tendues comme panneaux fléchissants, que ces peaux soient naturelles (Salle de Conférence du Palais de l'Europe à Strasbourg) ou constituées par un matériau plastique (Studio de la R.T.F. à Marseille).

4. Notons aussi l'intérêt que présente l'absorption par résonateurs, pour l'ajustement final de la réverbération d'une salle : il suffit en effet de calculer trop largement l'absorption, puis de l'ajuster en bouchant autant de cols de résonateurs que de besoin.

2.2.4. — MESURES DU TEMPS DE RÉVERBÉRATION ET DU COEFFICIENT D'ABSORPTION.

0. Les physiciens modernes savent que les définitions n'ont de sens que s'il est possible de préciser les conditions dans lesquelles sont mesurés les objets définis.

C'est pourquoi, il est indispensable que nous disions un mot des mesures du temps de réverbération et du coefficient d'absorption.

1. Deux méthodes pour mesurer le temps de réverbération d'une salle :

a) Mesure du temps nécessaire pour que le niveau du son initial décroisse de 60 phones ; on met un garde-temps en marche au moment où le son commence à décroître ; ce garde-temps est automatiquement arrêté quand le niveau du son est abaissé de 60 phones. Il suffit de lire une durée.

b) Tracé de la courbe de décroissance avec le temps de l'énergie — ou mieux du niveau sonore.

Dans les 2 cas, il faut une chaîne de mesure composée d'un microphone recueillant l'énergie sonore, de son amplificateur et d'un voltmètre redresseur :

- à déclenchement pour le 1^{er} procédé de mesure ;
- à enregistrement pour le second.

On obtient à la lecture une précision de l'ordre de quelques centièmes de seconde.

2. Deux méthodes pour mesurer le coefficient d'absorption d'un matériau.

a) La méthode du tube de KUNDT : on obture l'extrémité d'un tube de KUNDT suffisamment long (en pratique, dans les mesures précises, on utilise des batteries de tubes de KUNDT de dimensions différentes, suivant la fréquence étudiée) par une plaque du matériau absorbant à étudier. A l'origine du même tube, un haut-parleur émet un son de fréquence déterminée. Il s'établit à l'intérieur de l'appareil un régime d'ondes quasi-stationnaires, présentant une alternance de quasi-nœuds et de quasi-ventres. A l'aide d'une sonde constituée par un microphone de toute petite dimension qu'on peut faire glisser dans l'axe du tube, on mesure, en utilisant un voltmètre redresseur, le rapport des énergies aux quasi-nœuds et aux quasi-ventres.

On en déduit le coefficient d'absorption. Pour éviter tous calculs, certains appareils donnent par simple lecture ledit coefficient d'absorption.

b) La méthode de la chambre de réverbération : après avoir mesuré le temps de réverbération T_0 d'une grande salle aussi réverbérante que possible (pour diminuer l'erreur relative), on revêt une surface S_1 des parois du matériau à mesurer. Le temps de réverbération prend une nouvelle valeur T_1 , inférieure à la valeur précédente. Des 2 formules :

$$T_0 = \frac{0,07 V}{S \log (1 - a)^{-1}}$$

$$\text{et } T_1 = \frac{0,07 V}{(S - S_1) \log (1 - a)^{-1} + S_1 \log (1 - a_1)^{-1}}$$

on déduit, ayant mesuré T_0 et T_1 :

a coefficient d'absorption des parois nues ;

a_1 coefficient d'absorption cherché.

Cette méthode de mesure se ramène finalement à celle d'un temps de réverbération (Voir § 2.91).



Le Tirage et la Diffusion
de
L'ONDE ÉLECTRIQUE

sont contrôlés par

L'OFFICE DE JUSTIFICATION
DE LA

DIFFUSION DES SUPPORTS DE PUBLICITÉ

PARTOUT OÙ IL FAUT FAIRE VARIER LA TENSION

VARIAC

AUTOTRANSFORMATEUR A
RAPPORT DE TRANSFORMA-
TION VARIABLE AVEC PISTE
TRAITÉE "DURATRAK" (MOM DÉPOSÉ)

Fabriqués en France sous licence GR U.S.A.

- ★ LONGUE DURÉE.
- ★ POIDS ET DIMENSIONS RÉDUITS.
- ★ FAIBLES PERTES A VIDE.



V5G3
TRIPHASE

V5M

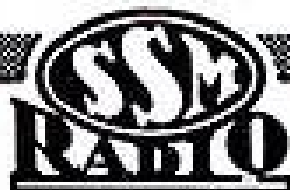
V10M

NOMBREUX
MODÈLES
Utilisables de
50 à 400 PPS

Documentation VW
sur demande

Ag. PUBLICITEC DOMINICH

ETS RADIOPHON
59, FAUBOURG POISSONNIERE - PARIS (10^e) - PRO 52-03 04



CONDENSATEURS *étanches* AU MICA

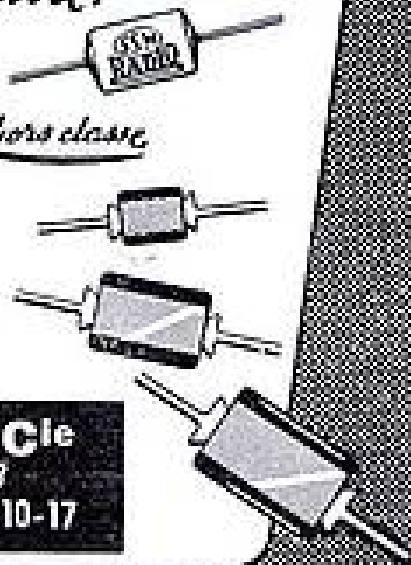
POUR TOUS LES EMPLOIS *air, mer, terre.*
DANS TOUTES CONDITIONS *froid, chaleur,*
humidité.

les condensateurs au mica
métallisé sous gaine céra-
mique moulée étanche de
la série PRC se sont révélés...

hors classe

Tropicalisation intégrale.

Tous les condensateurs au
mica:
imprégnés sous vide, cire,
ou silicones.
Tous les traitements de pro-
tection: polyester, émail.



ANDRÉ SERF et Cie
Spécialistes depuis 1923
127, Fg du Temple, PARIS NOR. 10-17

PUB. 8877



CABLES H.F.-H.T.
COAXIAUX
MICRO-CABLAGE
GAINÉ
Tous fils spéciaux
sur devis



GAMME
COMPLÈTE DE
FICHES COAXIALES
DE QUALITÉ!

PERENA 48 B^{is} VOLTAIRE 48
PARIS 11^e - Tel VOL 48-90+

3. Les critiques concernant ces méthodes de mesure sont *très graves* et visent non seulement les erreurs matérielles, mais les *principes* mêmes de ces méthodes.

a) Les mesures de temps de réverbération ayant donné toutes choses *paraissant* égales d'ailleurs, des résultats assez divergents, des études minutieuses doivent être entreprises pour déterminer quels sont les facteurs de la mesure qui sont susceptibles de provoquer ces divergences.

Elles proviennent :

1. De la *structure* de la chambre de réverbération — dimensions générales — formes — nature des parois.

2. Du son utilisé — on a essayé divers types de son :

— les sons de *fréquence pure* obtenus, par exemple, avec un hétérodyne ; après avoir éliminé cette méthode par crainte de la création dans la salle de nœuds et de ventres, ce qui aurait donné des résultats différents suivant la place du microphone, on s'est aperçu qu'en prenant quelques précautions simples, les sons de fréquence pure donnent des résultats aussi satisfaisants que d'autres ;

— les sons de *fréquence modulée* (dits généralement *sons ululés*), permettent d'éviter précisément les nœuds et les ventres dus aux fréquences pures ;

— les *bruits blancs*, représentés en principe par un spectre continu horizontal (fig. 29) dans toute

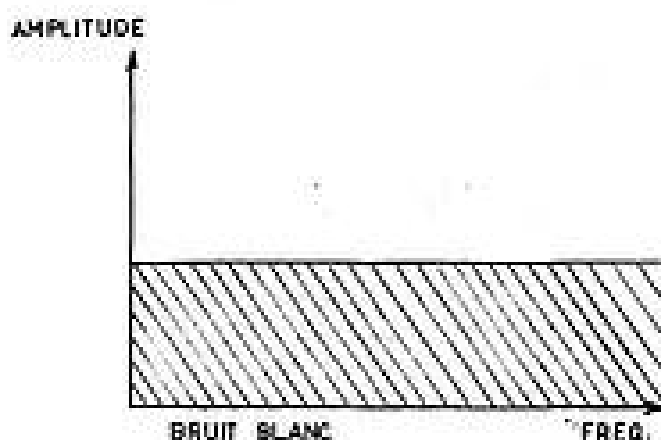


FIG. 29

la bande des fréquences audibles, la sélection des fréquences se faisant par filtrage sur la chaîne de réception ; en général on procède par bandes de $1/3$ d'octave.

Les bruits blancs sont :

— soit les *bruits de fond* de lampes à vide (lampes au néon par exemple), convenablement amplifiés.

— soit le choc d'un appareil en forme de mâchoire qui se referme brusquement (*claquoir*).

3. De l'*homogénéité* de la répartition sonore à l'intérieur de la salle.

On l'accroît en posant haut-parleurs et microphones sur des appareils *rotatifs* (ce qui permet d'utiliser sans danger les fréquences pures et rend en outre la mesure indépendante de la position des H.P. et du microphone).

Avec le claquoir une telle méthode n'est pas possible ; on procède donc à une série d'essais en provoquant le son en plusieurs points de la salle ; bien entendu, le microphone peut toujours être mobile.

4. De l'*intensité* du son : ce facteur est particulièrement important, car il met en cause l'existence même des formules de SABINE, d'EWING ou de MILLINGTON, toutes basées sur le principe fondamental que l'*absorption est indépendante de l'intensité sonore*.

Il semble qu'il n'en soit pas ainsi aux niveaux *très élevés* où apparaît une nette distorsion ; néanmoins, aux niveaux pratiques, la constance de l'absorption est à peu près respectée.

5. De la *surface totale occupée* par les matériaux absorbants et de leur disposition sur les parois : les essais récemment effectués par M. LAMORAL au Laboratoire d'Acoustique de la R.T.F. mettent en évidence des *divergences très nettes* suivant que la surface de matériaux absorbants utilisés est plus ou moins importante et aussi suivant que ces matériaux sont constitués par un seul panneau continu ou par un nombre plus ou moins grand de panneaux plus ou moins petits.

Il semble que l'*intervention de panneaux plus petits ne modifie pratiquement pas l'absorption aux fréquences basses*, mais l'*augmente très sensiblement aux fréquences aiguës* (c'est ainsi que le coefficient d'absorption calculé par la formule de SABINE peut passer de 0,6 à 0,8 ou de 0,8 à 1, ce qui est loin d'être négligeable). On peut expliquer ce phénomène par la multiplication des bords des panneaux, dont le comportement acoustique est très différent de celui des zones plates, et dont par ailleurs la surface relative est loin d'être négligeable quand on utilise de petits panneaux (un panneau carré de 50 cm de côté et de 5 cm d'épaisseur a une surface de bords de 1 000 cm² contre 2 500 cm² pour celle du panneau — soit 40 %).

Il est donc indispensable de tenir compte de ces variations d'absorption quand on détermine le revêtement d'une salle.

b) La méthode du tube et la méthode de la chambre de réverbération pour mesurer les coefficients d'absorption *donnent des résultats peu comparables*.

On explique ces divergences en faisant remarquer :

1. Que dans la méthode du tube, les ondes sonores tombent perpendiculairement sur le panneau, alors que dans une chambre de réverbération, il y a *répartition diffuse*.

2. Que les systèmes de fixation du panneau à l'extrémité d'un tube ou sur les murs d'une chambre de réverbération sont très différents.

3. Que les bords du panneau n'interviennent pas dans le cas du tube.

4. Qu'en pratique, les surfaces de panneaux utilisées sont beaucoup plus importantes, en chambre de réverbération qu'en tube.

pour VOTRE AVENIR pensez.

"TÉLÉCOMMUNICATIONS"

une industrie en plein essor!

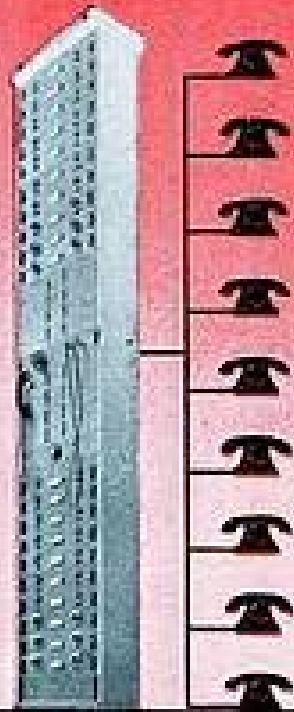
Une grande firme vous offre :

→ **DES EMPLOIS INTÉRESSANTS ET RÉMUNÉRATEURS.**

→ **DES SITUATIONS D'AVENIR** correspondant à vos goûts dans la branche de votre choix : Courants porteurs, Lignes Multiplex, Télégraphie, V.M.F., Télécommande, Appareils panoramiques, etc.

→ **Des possibilités de travail** dans un cadre agréable parmi une équipe de techniciens dotés de moyens modernes.

N'HÉSITEZ PAS à prendre contact avec M. l'Ingénieur Chef du Service H.F. qui vous conseillera pour l'évolution de votre carrière.



**COMPAGNIE INDUSTRIELLE
DES TÉLÉPHONES**

2, RUE DE L'INGÉNIEUR ROBERT KELLER - PARIS XV - TÉL. VAU. 3870

pour tout ce qui est
telecommande
tele-signalisation



LE TYPE R.S.



Publi SARP

relais
contacteurs

signalisation lumineuse

LE MATÉRIEL TECHNIQUE ET INDUSTRIEL

23 et 40, rue du Pré Saint-Gervais, PARIS-19^e - Tél. BOL 79-78 +

Ces « explications » — sauf peut-être la première qui a fait l'objet de certaines justifications par le calcul — ont un caractère trop qualitatif pour être parfaitement satisfaisantes à l'esprit.

Il faut bien le dire : en 1956, on n'a pas encore une notion très précise de ce qu'est l'absorption du son (à la réflexion). On utilise au mieux les chiffres assez divergents que l'on trouve, ce qui n'exclut pas un certain tâtonnement : on essaie de l'éviter par des tentatives de normalisation des méthodes de mesure qui sont actuellement en cours.

Encore faut-il s'assurer que cette normalisation donnera des résultats à la fois parfaitement cohérents et utilisables.

2.2.5. — LOIS DE SABINE.

Les lois de SABINE, souvent présentées comme des conséquences des formules de SABINE, découlent en fait uniquement de l'hypothèse de l'équi-répartition de l'énergie sonore, à un instant donné, en tous les points de la salle. Leur validité est donc fonction de la validité de cette hypothèse qui n'est convenablement vérifiée que pour les salles de pas trop grandes dimensions. Elles s'énoncent ainsi :

1^{re} loi. — Le taux de décroissance du son est le même en tous les points d'un auditorium.

2^e loi. — Le taux de décroissance du son ne dépend pas de la position de la source.

3^e loi. — L'effet d'un absorbant sur le temps de réverbération est indépendant de sa position sur les parois de la salle.

Même dans le cas des salles moyennes, ces lois ne sont pas valables au voisinage immédiat des points « critiques » de réflexion.

On a donc intérêt :

— d'une part à ne pas placer les musiciens trop près des auditeurs ;

— d'autre part à ne pas placer les auditeurs trop près des murs.

2.3. — Les grandes salles.

2.3.1. — DÉFAUTS PROPRES AUX GRANDES SALLES.

1. Dès que les dimensions d'un auditorium dépassent une certaine valeur, ni les formules, ni les lois de SABINE ne sont applicables, du fait de l'absence d'homogénéité dans la répartition du son.

Gustave LYON semble être le premier à avoir eu l'idée (vers 1903), d'attribuer cette hétérogénéité apparente de la salle à l'influence respective du son direct et des sons réfléchis sur le niveau sonore total que perçoit l'oreille.

Des études qu'il a faites sur des champs de neige fraîche (donc absorbante) ou de glace (réfléchissante) et sur des lacs (réfléchissants), il a tiré les conclusions suivantes :

a) Le son direct n'est perceptible qu'à une distance extrêmement courte.

C'est dû au fait que l'onde est sphérique, donc que l'énergie transportée varie en raison inverse du carré de la distance.

Si un son a un niveau de 60 phons à 1 m de la source, à 10 m le niveau sera 40 phons et à 100 mètres 20 phons.

La diminution de niveau est donc proportionnelle au logarithme de la distance à la source : un son très puissant sera (relativement) perceptible beaucoup plus loin qu'un son faible.

b) Les ondes réfléchies par les obstacles (en plein air) ou par les murs, plafond, plancher (d'un auditorium) entrent donc pour beaucoup dans la composition du son, en un point qui n'est pas à proximité immédiate de la source sonore.

Cette remarque permet de comprendre pourquoi un studio très étouffé (tel qu'on les concevait vers 1930) conduit à des résultats désastreux : la suppression quasi-totale des ondes réfléchies donne à l'onde directe une importance primordiale : la place relative des musiciens par rapport au microphone doit donc être fixée ne varier.

D'où :

a) Absence de souplesse pour placer les exécutants.

b) Pour éviter un tassement des musiciens, nécessité de plusieurs prises de son simultanées, ce qui, particulièrement quand le nombre d'exécutants est petit, détruit l'équilibre de l'ensemble ;

c) Impression très désagréable de sécheresse ressentie par les auditeurs.

2. Il est donc indispensable de conserver dans une salle des ondes réfléchies. Mais ces ondes parvenant à l'oreille après l'onde directe, il se peut que l'auditeur perçoive distinctement le son dû à l'onde directe et le son dû à l'onde réfléchi ; il se produit alors un phénomène d'écho.

C'est la persistance des impressions auditives sur le tympan qui limite ce phénomène d'écho.

La durée de cette persistance a été mesurée par G. LYON en haute montagne (à l'abri des perturbations phoniques) : elle a été trouvée comprise entre 1/10 et 1/15 de seconde, ce qui correspond à des trajets sonores variant de 22 à 33 mètres.

D'où le :

Règle de Gustave Lyon. Pour éviter l'écho dû à une onde réfléchi, il faut et il suffit que la différence des trajets de l'onde directe et de l'onde réfléchi soit inférieure à une longueur qui, suivant la nature du son, peut varier de 22 à 33 m.

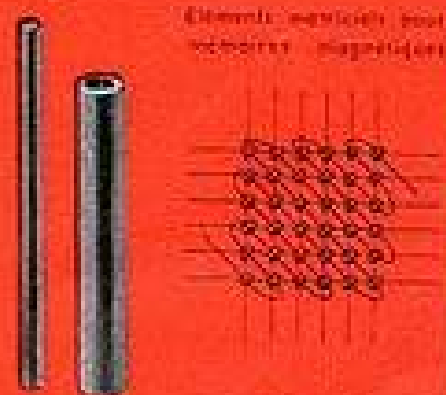
Le chiffre de 33 m est un cas extrême qui s'applique aux sons secs, tels que ceux qui peuvent être donnés par la batterie d'orchestre.

G. LYON a ainsi précisé la notion de grande salle : il appelle ainsi toute salle dont une des dimensions

Transco

FERRITES MAGNÉTIQUES

Matériaux modernes à champs d'applications multiples



FERROXCUBE (FXC)

HAUTE PERMÉABILITÉ - FAIBLES PERTES

		LIMITE DE FRÉQUENCE	FORMES DES PIÈCES FXC	QUALITÉ DE FXC	EXEMPLES D'APPLICATIONS FXC
FAIBLES INDUCTIONS (supérieures à 1 gauss)	Q ÉLEVÉ (300)	jusqu'à 20 kc/s " 100 kc/s " 500 kc/s " 2 Mc/s	Pol fermé	1-B1 1-B2 1-B3 4-B	Filtres et inductances de circuits sélectifs
	Q MOYEN (100)	450 kc/s 10 Mc/s jusqu'à 500 kc/s 500 à 2000 kc/s jusqu'à 3 Mc/s jusqu'à 10 Mc/s jusqu'à 20 Mc/s jusqu'à 100 Mc/s	Bâtonnets Bâtonnets Bâtonnets Bâtonnets Bâtonnets Bâtonnets Bâtonnets	3-B 4-E 1-B 4-B 4-C 4-D 4-E 4-F	Transformateurs MF Transformateurs MF pour FM Antennes-cadres Antennes-cadres Inductances réglables - filtres Inductances réglables - filtres Inductances réglables - filtres Inductances réglables - filtres
	CIRCUITS APÉRIODIQUES	Au-dessous 1 Mc/s jusqu'à 100 kc/s 0,3 à 100 kc/s 0,3 à 10 Mc/s jusqu'à 2 Mc/s	Perles formes spéciales E E U et E	1-B - 4-B 1-C 1-A 3-A 3-E	Écran Tête d'enregistrement magnétique Transformateurs BF et HF Transformateurs HF à large bande Transformateurs de télécommunication
INDUCTIONS comprises entre 1 et 200 gauss	0,3 - 3,4 kc/s 0,3 - 3,4 kc/s jusqu'à 100 kc/s Au-dessus de 100 kc/s	Pol fermé Pol fermé E et U Torex-Bâtonnets	1-B4 1-B5 4-B 4-A - 4-B	Inductance BF de qualité Bobine de charge Transducteurs Bobines d'arrêt	
HAUTES INDUCTIONS (supérieures à 200 gauss)	jusqu'à 100 kc/s Impulsions de 0,1 P sec et plus longues	U Baguettes E-U - Bâtonnets Torex Torex - U-E Cylindre	1-C1 1-C2 1-C1 - 4-B 6 1-C1 - 1-D2	Transformateurs de lignes TV Déflexion TV Transformateurs d'impulsions Mémoires magnétiques Transformateurs HF de puissance Inductances réglables - Bobines d'allumage	

FERROXDURE (FXD)

CHAMP COERCITIF ÉLEVÉ

EXEMPLES D'APPLICATIONS FXD	
RADIO - TÉLÉVISION - TÉLÉPHONIE	ÉLECTROTECHNIQUE MÉCANIQUE
Focalisation des tubes images - Haut-parleurs Écouteurs téléphoniques - Aimants de polarisation Transformateurs d'impulsions - Relais - Bobines d'inductance	Rotors multipolaires - Plaques magnétiques - Aimants de fixation - Couplages magnéto-mécaniques synchrones et asynchrones

C^{IE} DES PRODUITS ÉLEMENTAIRES POUR INDUSTRIES MODERNES

SERVICES COMMERCIAUX ET MAGASINS : 7, PASSAGE CHARLES-DALLERY - PARIS-XI^e - VOLTAIRE 23-09

SIÈGE SOCIAL ET USINE A ÉVREUX (EURE)

au moins est supérieure à 11 mètres — une salle donc qui présente des *risques d'écho*.

3. La règle de G. LYON est une base utile, mais insuffisante.

Elle ne tient compte que des *échos francs*, perceptibles à l'oreille sous forme de 2 sons nettement distincts. Mais entre l'écho franc et l'absence totale de trouble dû à l'arrivée d'un son réfléchi, il y a toute une gamme de transitions qui ont fait l'objet d'études sérieuses en Angleterre et en Allemagne notamment.

Le caractère de *gêne auditive* due à l'écho dépend :

a) Du *niveau relatif* de l'écho par rapport au son direct ;

b) De l'*écart de temps* qui sépare l'écho du son direct ;

c) Du niveau de l'ambiance sonore (ou du fond sonore).

HASS a démontré que :

— Dans le cas d'un son continu, une onde réfléchie retardée de *moins de 35 millisecondes* est masquée par le son direct tant que le niveau de cette onde réfléchie ne dépasse pas de *plus de 8 décibels* le niveau du son direct ;

— *au-delà de 40 millisecondes*, on éprouve une gêne d'autant plus marquée :

que le décalage est plus fort ;

que le son réfléchi est plus intense.

HASS a tracé des *courbes de gêne* établies statistiquement. (fig. 30).

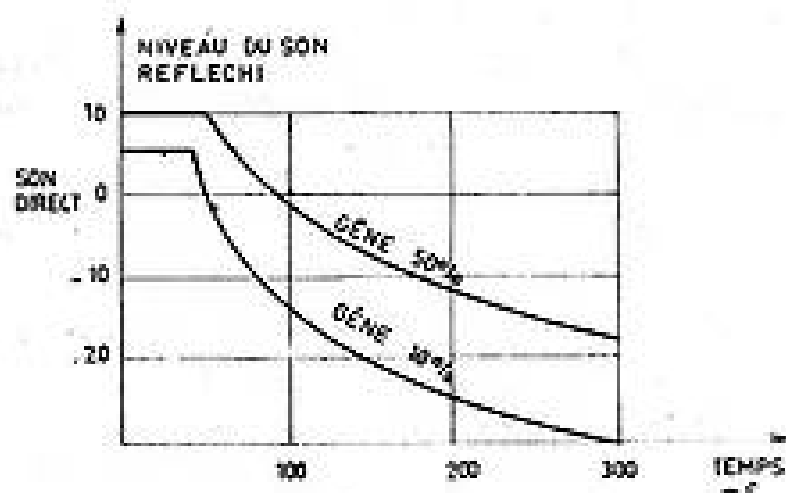


FIG. 30

Si une onde réfléchie décalée de X millisecondes a un niveau inférieur à l'ordonnée correspondante de la courbe 10 %, elle n'est pas gênante.

Si son niveau est compris entre les ordonnées des courbes 10 % et 50 % ; elle est *gênante* ; si son niveau dépasse l'ordonnée de la courbe 50 %, il y a *défaut acoustique manifeste*.

Il est évident que, plus il y a de grandes réflexions importantes, plus cette condition (à laquelle on donne parfois le nom de critère de HASS) est difficile à tenir ; ce critère permet donc également de donner une idée de ce qu'on peut appeler « grande salle ».

4. Les salles, dans lesquelles on a évité des échos,

peuvent présenter des défauts dus à des phénomènes particuliers gênants pour l'auditeur :

a) Il peut arriver que, par une succession de réflexions sur 2 cloisons opposées *parallèles* (plancher et plafond par exemple), l'oreille perçoive une *sensation désagréable*, bien que l'écart de temps entre le son direct et le son réfléchi soit très inférieur à 40 millisecondes. Cette sensation est due essentiellement à un phénomène du type « onde stationnaire » qui se produit entre les 2 parois.

Ce phénomène porte le nom d'*écho flottant* (flutter-echo).

Ni la règle de Gustave LYON, ni le critère de HASS ne permettent de le déceler. Pour l'éviter, il faut :

— soit renoncer à utiliser des parois parallèles (forme *trapézoïdale* courante des auditoria) ;

— soit, s'il est impossible de le faire, revêtir l'une des parois d'un *absorbant très énergique*.

b) L'optique géométrique permet de prévoir que, s'il existe devant une source lumineuse, un réflecteur sphérique concave, les rayons issus de cette source ont tendance à se concentrer après réflexion en un point dit *point-image* de la source.

Il en est de même en acoustique : la présence d'éléments de parois *concaves, sphériques* ou à *peu près sphériques*, en créant une image de la source, va provoquer des *effets de concentration* sonores, en des points qui varient d'ailleurs avec la position de cette source.

Si celle-ci est étendue (cas des orchestres, par exemple), les zones de concentration sont très vastes.

C'est un des premiers principes de l'acoustique des grandes salles que d'éviter les *foyers sonores* en prohibant de façon absolue les surfaces concaves de faibles rayons et de façon générale toutes les surfaces susceptibles de donner des points images de la source.

2.3.2. — ETUDE GÉOMÉTRIQUE DES GRANDES SALLES.

— ESSAIS SUR MAQUETTES.

1. L'étude géométrique des salles a été utilisée tout d'abord par Gustave LYON, à qui on peut reprocher de l'avoir appliquée d'une façon excessive, de lui avoir attribué en quelque sorte une vertu d'universalité qu'elle est loin de posséder.

Son but peut être double :

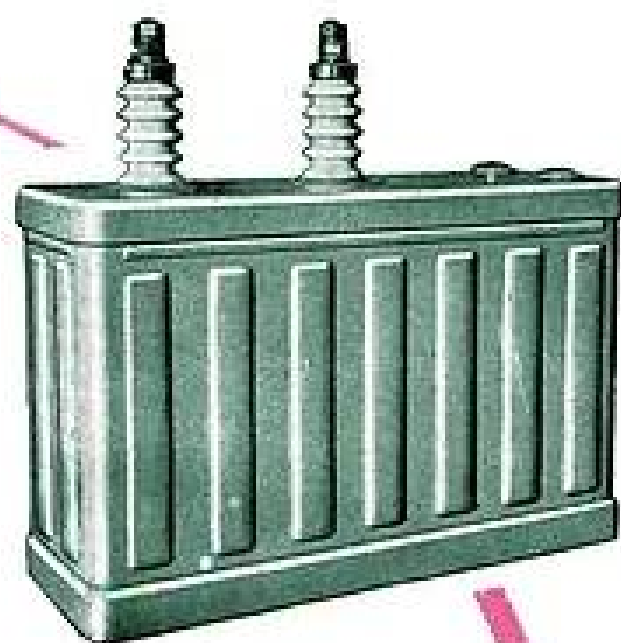
— déterminer la disposition et éventuellement la forme des parois, ainsi que la position des produits absorbants, pour éviter les défauts dus à l'hétérogénéité acoustique, tels que : échos — foyers — échos-flottants, etc...

— procéder à la même détermination pour obtenir une écoute particulièrement favorable dans les zones *utiles* de l'auditorium (autrement dit : *diriger* la réverbération).

CONDENSATEURS D'IMPULSIONS ET LIGNES A RETARD DE RADARS



(QUELQUES-UNES DE
NOS RÉALISATIONS)



MODÈLE DE CONDENSATEUR

Constitué par un empilage de plaquettes en forme de disques en mica argenté pour tensions de Service élevées et fonctionnement en régime d'impulsions
(Brevet Stéafix N° 1 089 270)
La conception de ce condensateur permet de réaliser des performances exceptionnelles.

LIGNE 20

Impédance de la ligne	25 ohms
Puissance de l'impulsion	2,7 Mw
Fréquence de répétition	300 ips
Tension de charge	18 000 V cc
Largeur d'impulsion	2 μ s - 0 + 10 %
Température de fonct.	- 40°C + 70°C
- de stockage	- 50°C + 70°C

LIGNE 31 bis

Impédance	50 ohms
Puissance de l'impulsion	750 Kw
Fréquence de répétition	1 500 ips
Tension de charge	13 000 V cc
Largeur d'impulsion	0,55 μ s
Température de fonct.	- 10°C + 70°C
- de stockage	- 40°C + 70°C

LIGNE 23

Impédance	50 ohms
Puissance de l'impulsion	270 Kw
Fréquence de répétition	2 400-1 000 et 400 ips
Tension de charge	7 500 V cc
Largeur d'impulsion	0,4 - 1 - 2,5 μ s
Température de fonct.	- 40°C + 90°C
- de stockage	- 50°C + 90°C



Nous pouvons étudier à la demande
soit des condensateurs d'impulsions
soit des lignes à retard complètes
Plus de 60 Prototypes ont déjà été réalisés
Plusieurs centaines de lignes ont été fabri-
quées en série
NOUS CONSULTER



STÉAFIX et C^{IE}

17, RUE FRANCOEUR
PARIS 18^e. MON.02-93, 61-19

On sait que la salle Pleyel a été primitivement calculée par Gustave Lyon, dans ce double esprit : le résultat a été décevant.

Sans doute s'agissait-il d'une tentative très hardie, avec les connaissances dont on disposait à l'époque. Peut-être aujourd'hui serait-on capable d'obtenir des résultats plus satisfaisants. Mais on ne s'y emploie pas à fond : l'étude géométrique des salles ne sert pratiquement qu'à éviter les défauts.

2. Il faut signaler, à ce sujet, la méthode extrêmement efficace dite des *maquettes* mise au point dans divers Laboratoires, et notamment au Laboratoire d'Acoustique de la R.T.F. par M. LAMORAL.

On substitue au calcul une expérimentation sur modèle réduit au 1/20 ou au 1/30 suivant les cas : une source ultrasonore susceptible de donner des fréquences 20 ou 30 fois plus élevées que les fréquences acoustiques est placée à l'endroit où se trouvent normalement les musiciens ou les conférenciers. Un microphone-miniature branché à un oscillographe recueille l'ultrason produit en divers points de la salle.

Il est alors très facile de déceler sur l'écran, les emplacements « acoustiquement dangereux ». En déplaçant sur les parois un petit morceau de produit absorbant, on peut alors repérer les zones qui sont à l'origine des défauts constatés.

Cette méthode de mise en œuvre très simple — la plus grosse difficulté réside dans la recherche du matériel d'essai — possède de sérieux avantages sur les méthodes géométriques classiques :

— elle est beaucoup plus rapide ;

— elle est plus complète, car elle utilise le volume de la salle, et non des coupes dont le nombre risque d'être toujours insuffisant, et le choix parfois malheureux ;

— elle permet enfin de déceler non seulement les effets francs, mais de se faire une idée précise sur le comportement acoustique exact de la salle en chacun de ses points.

La confrontation des essais sur maquettes et des essais grandeur nature effectués au Grand Studio de la R.T.F. à Marseille a permis d'apprécier la valeur des prévisions qui pouvaient être faites, à l'aide de cette très ingénieuse méthode.

2.3.3. — EXTENSION DE LA NOTION DE TEMPS DE RÉVÉBERATION AUX GRANDES SALLES.

0. La plus sérieuse critique que l'on puisse faire aux procédés géométriques « purs » est de négliger l'effet de réverbération.

Or, si celui-ci ne peut être calculée avec la même précision que dans le cas des salles moyennes, il n'en existe pas moins et joue même un rôle important.

1. Des essais concordants sur la détermination en un point d'une salle de la courbe de décroissance du son établie dans les mêmes conditions que l'avait fait SABINE, ont donné les résultats suivants (fig. 31):

a) Le son ne commence pas à décroître au moment de l'arrêt de la source, comme dans le cas des salles de dimensions plus petites : il persiste à son niveau initial pendant un instant dont la durée dépend à la fois de la position du point expérimenté et des dimensions de la salle (position AB).

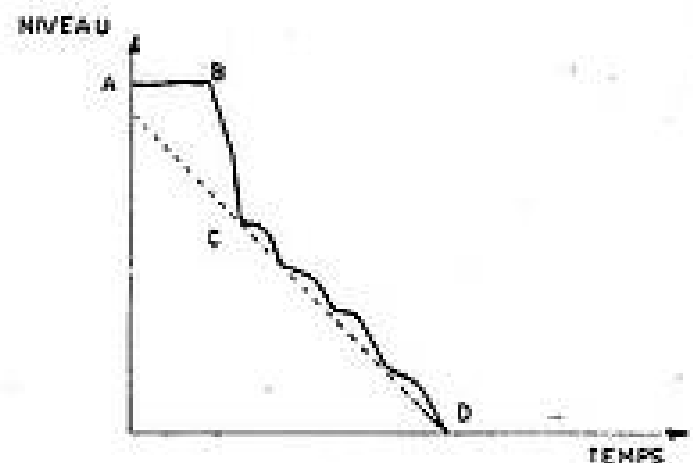


FIG. 31

b) A cette zone de quasi-stabilité succède une brusque chute de niveau ; de plusieurs décibels en général (position BC).

c) Enfin on retrouve une courbe de décroissance sensiblement linéaire comme pour les salles moyennes.

En somme, l'effet de grande salle n'apparaît qu'au début de l'expérience ; ceci se conçoit sans peine, car après peu de réflexions, les rayons sonores sont — sauf cas exceptionnels — suffisamment amortis pour se fondre dans une ambiance qui décroît à peu près régulièrement.

On peut donc parler sans commettre d'erreur de principe du temps de réverbération d'une grande salle. On peut même essayer de le calculer et la formule de MILLINGTON étend son domaine d'application très au-delà des salles moyennes.

2.3.4. — ÉLÉMENTS INTERVENANT DANS L'ÉTUDE D'UNE GRANDE SALLE.

Mais la connaissance du temps de réverbération en un point ne suffit pas plus à déterminer la qualité d'une grande salle que des épures géométriques.

Ce sont des facteurs qui se complètent et dont le rôle n'est pas encore très exactement déterminé.

De façon générale, l'étude d'une grande salle conduit à faire intervenir les éléments suivants :

— Détermination du temps de réverbération par la formule de MILLINGTON ;

— Évaluation de la dispersion dans l'espace de ce temps de réverbération, cette dispersion due aux dimensions de la salle, ne peut être évitée ; elle semble pouvoir être assez largement tolérée ;

— Détermination de la durée pendant laquelle l'énergie sonore en un point d'une salle paraît rester constante, et de l'importance de la chute de niveau qui lui succède, ce dernier élément n'est pas sans rapport avec l'existence de certains échos ;

— Forme de la courbe de réverbération qui est

IMPERMÉABILITÉ

L'étanchéité est une condition indispensable au bon fonctionnement et à la durée d'un condensateur.

Pour des installations qui doivent fonctionner pendant des années ou assurer la sécurité des usagers (surtout quand il s'agit par exemple d'aviation,) on ne peut se contenter de condensateurs A PEU PRES étanches dont le contrôle s'est borné à subir, PAR PRELEVEMENT, quelques cycles thermiques en atmosphère humide.

L'étanchéité de CHAQUE condensateur STEAFIX est contrôlée par immersion dans l'eau sous vide et par des mesures consécutives de la résistance d'isolement, ce qui donne à l'utilisateur une garantie absolue de durée et de bon fonctionnement.

Très en avance sur toutes les normes actuellement en vigueur, la Société STEAFIX obtient l'étanchéité de ses condensateurs grâce à de nouvelles matières de moulage et à des procédés dont les brevets sont sa propriété exclusive.

À l'épreuve du temps et du mauvais temps, les condensateurs STEAFIX assurent un service parfait et sont les plus économiques.

UTILISEZ DONC UN BON CONDENSATEUR ET VOUS ÉPARGNEREZ DES FRAIS IMPORTANTS DE RÉPARATIONS



STEAFIX

Société Anonyme au capital de 65.000.000 de Francs
17, RUE FRANCOEUR, PARIS 18^e - FRANCE
TÉL. MONMARTRE 02-93

le spécialiste du condensateur au mica

beaucoup moins régulière que dans le cas des petites ou moyennes salles :

— Emplacements des foyers ou des zones d'échos, déterminés soit par des procédés graphiques, soit mieux sur maquettes.

On conçoit donc que l'étude des grandes salles soit assez complexe et ne puisse se faire valablement sans matériel d'étude ou d'essai approprié.

2.4. — Les petites salles.

2.4.0. — Les résultats donnés par la méthode statistique de d'ALEMBERT n'apportent aucun élément neuf, quand les dimensions de la salle sont petites. Tout au plus, permettent-ils d'indiquer que, dans ce cas, le mélange sonore est plus homogène et par conséquent la salle est, en principe, meilleure.

Or, pour les petites salles, apparaissent des phénomènes particuliers que seule peut expliquer la méthode de BERNOULLI ; cette méthode explique également certains résultats sur les grandes salles incompréhensibles, si l'on s'attache au point de vue strictement statistique.

2.4.1. — PROPAGATION DU SON DANS UNE SALLE PARALLÉLÉPIPÉDIQUE RÉFLÉCHISSANTE.

0. Rappelons l'équation générale de propagation du son dans l'espace, équation du potentiel des vitesses :

$$\Delta \Phi = \frac{1}{\Omega^2} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2}$$

et cherchons les solutions de la forme :

$$\Phi(xyzt) = \Psi(xyz) e^t$$

1. Intégrale générale.

Il est facile de voir que $\Psi(xyz)$ est la solution de l'équation aux dérivées partielles

$$\Delta \Psi - \frac{\gamma^2}{\Omega^2} \Psi = 0$$

Cette équation est satisfaite pour toute fonction de la forme :

$$\Psi = e^{\frac{i}{\Omega} (\pm ax \pm by \pm cz)}$$

pourvu que $a^2 + b^2 + c^2 = 1$

La détermination des constantes $a b c$ ne peut se faire que si l'on connaît les conditions aux limites du mouvement.

2. Conditions aux limites.

On suppose que l'onde se propage dans une salle parallélépipédique de dimensions $l m n$ parallèles aux axes (fig. 32).

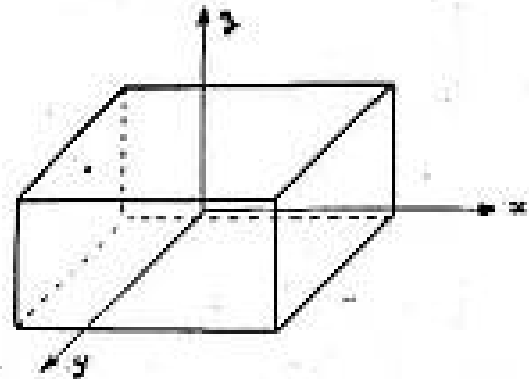


FIG. 32

La condition aux limites la plus générale s'obtient en exprimant qu'en un point quelconque de la paroi ($\alpha \beta \gamma$), l'onde trouve un obstacle d'impédance Z ($\alpha \beta \gamma$).

Comme, d'après un résultat connu :

$$\left\{ \begin{array}{l} p = -\rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} \\ v = \text{grad } \Phi \end{array} \right.$$

il est indispensable pour exprimer la condition aux limites de connaître le comportement de l'onde au voisinage des parois.

C'est un problème très difficile qui n'a fait encore l'objet que d'études partielles, sur lesquelles nous n'insisterons pas.

Remarquons simplement que les résultats obtenus en supposant que Z est caractéristique de la paroi n'ont pas été confirmés par l'expérience.

Les études récentes de MONNA sur les matériaux poreux indiquent que Z dépend non seulement des caractéristiques propres de la paroi, mais également de l'angle d'incidence des ondes sonores, ce qui ne simplifie pas le calcul.

3. Nous nous contenterons d'examiner le cas très particulier où il n'y a aucune absorption, c'est-à-dire où Z est infini, quel que soit l'angle d'incidence.

En considérant successivement les ondes parallèles à Ox , à Oy et à Oz , en remarquant que, en l'absence d'absorption, il n'y a pas d'amortissement, donc que l'on peut écrire $\gamma = j\omega$, un calcul classique nous montre que la compatibilité des équations impose que ω soit liée aux dimensions de la salle par la formule :

$$\omega^2 = \pi^2 \Omega^2 \left[\frac{A^2}{l^2} + \frac{B^2}{m^2} + \frac{C^2}{n^2} \right]$$

ou :

$$l = \frac{\Omega}{2} \sqrt{\frac{A^2}{l^2} + \frac{B^2}{m^2} + \frac{C^2}{n^2}}$$

LES GRANDES MARQUES

Américaines

RADIO CORP. OF AMERICA

PHOTOMULTIPLICATEURS



Modèles : 1 P 21 - 1 P 22 - 1 P 30 - 931 A
2020 - 5819 - 6199 - 6328 - 6342 - 6372.
Sensibilité maximum : entre 3400 et 4800
Angströms.
Amplification : de 6×10^5 à 2×10^6 .



SIERRA ELECTRONIC CORP.

VOLTMÈTRES SÉLECTIFS

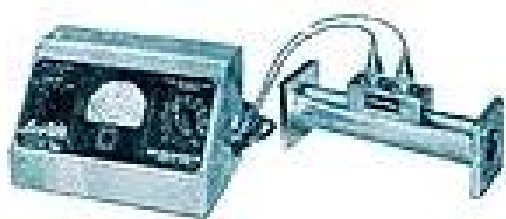


Modèles 101 A - 103 A - 104 - 108 A
Couvrant les fréquences de 3 à 300 kc/s -
Niveau de -80 à $+42$ dB - Sélectivité de
3 dB de ± 300 à 750 c/s - Contrôle des ten-
sion dans les équipements à courant porteur.



Mc JONES ELECTRONICS Co

**APPAREILS pour MESURES
CONTROLES et ESSAIS sur les
LIGNES COAXIALES**

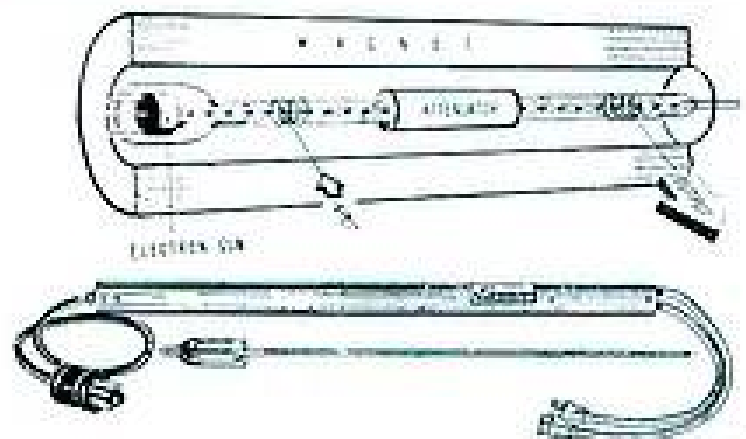


jusqu'à 2000 Mcs pour VHF, FM, TV etc.

Coupleurs directionnels
Wattmètres VHF à absorption
Résistance de charge HF



HUGGINS LABORATORIES INC



TUBES à ondes progressives
Fréquences de 2000 à 14000 Mégacycles.

SOLÉNOÏDES
300 à 1000 GAUSS



DISTRIBUTEURS OFFICIELS FRANCE ET U. F.

RADIO-ÉQUIPEMENTS

65, r. de Richelieu
PARIS 2^e
RIC. 49-88

$A B C$ étant trois nombres entiers quelconques.

On retrouve un résultat déjà rencontré pour les milieux à 1 ou 2 dimensions :

Il y a pour une salle parallélépipédique une infinité d'états de vibrations, chacun correspondant à une fréquence bien déterminée, dite *fréquence propre* ou *mieux partiel* de la salle.

4. Le nombre des états de vibration possibles peut se calculer sans difficulté. On trouve des chiffres très élevés.

Exemples : Salle de 100 m³

Au-dessous de 200 hertz : 144 états de vibration possibles.

Entre 1 000 et 1 200 hertz : 7 320 états de vibration possibles.

Salle de 1 000 m³

Au-dessous de 200 hertz : 1 200.

Entre 1 000 et 1 200 hertz : 71 200.

Plus la salle est grande, plus le nombre de partiels est élevé.

Dans quelles conditions se produisent ces partiels ? C'est un point délicat à déterminer.

L'expérience classique des salles montre que lorsque l'on a joué une note de musique et qu'on arrête la source de son, l'oreille continue à percevoir pendant la durée de la réverbération un son de même hauteur.

Le partiel excité correspond donc sensiblement à la note jouée : c'est possible en général, en raison du nombre considérable de partiels existant.

5. Mais — et c'est là qu'intervient la notion de petite salle — il existe des cas où ce résultat est en défaut : c'est quand l'écart des partiels est relativement grand, ce qui se produit dans les salles de petites dimensions et aux fréquences basses.

Exemple. Dans une salle de 100 m³, il y a une quinzaine de fréquences propres inférieures à 100 hertz. Ces fréquences sont réparties ainsi :

27,5 – 36,6 – 46 – 55 – 61,5 – 66 – 71,5 – 73,5

77,5 – 78,5 – 82,5 – 86 – 90,2 – 91,5 – 95,5 – 99.

ce qui met en évidence de véritables trous de fréquence qui peuvent atteindre jusqu'à 9 hertz.

Une telle salle répond mal à une excitation grave : au lieu de se prolonger à la même hauteur, un son musical interrompu paraît au contraire se décaler brusquement de sorte que l'oreille perçoit nettement le partiel qui caractérise la salle et non plus la prolongation artificielle du son initial.

On conçoit le grave inconvénient que peut présenter un tel comportement qui apparaît de façon frappante dans un certain nombre de cas, tels que :

- chambres d'échos de petites dimensions ;
- petits studios de speaker (son de tonneau)

6. Lorsque les parois d'une salle sont absorbantes, il est facile de calculer :

— d'une part les fréquences propres de la salle : sont très voisines des fréquences propres de la salle non amortie (ce qui permet d'appliquer aux salles usuelles les résultats trouvés au paragraphe précédent) ;

— d'autre part le taux d'amortissement du son.

Nous donnerons, sans calcul, les résultats essentiels :

a) Le coefficient d'amortissement K peut être, à partir des équations de propagation du son, et des conditions aux limites, déterminé en fonction des coefficients d'absorption des parois.

Si $\alpha(\theta_i)$ est le coefficient d'absorption sous l'angle θ_i , on trouve

$$K = - \frac{\Omega}{4V} \cdot \sum S_i (2 \cos \theta_i) \log [1 - \alpha(\theta_i)]$$

On reconnaît la formule de Millington, à condition d'adopter comme valeur probable de l'angle d'incidence

$$\theta_i = 60^\circ$$

Résultat dont il est inutile de souligner l'importance.

b) L'effet d'amortissement nous conduit à distinguer, dans les partiels d'une salle, 3 groupes distincts :

1. les partiels axiaux. — correspondant à des ondes se propageant suivant les axes de la salle (dans la formule générale des partiels, ceux-ci correspondent au fait que 2 des nombres $A B C$ sont nuls) ;

2. les partiels tangentiels. — correspondant à des ondes se propageant parallèlement aux parois (1 des nombres $A B C$ est nul) ;

3. les partiels obliques, quelconques.

Or, on démontre que les taux d'amortissement des partiels axiaux sont plus faibles que ceux des partiels tangentiels, eux-mêmes plus faibles que ceux des partiels obliques.

Il en résulte que si plusieurs partiels sont excités simultanément par un son, certains d'entre eux paraîtront durer plus que d'autres et être prédominants.

C'est ainsi que dans une salle de 100 m³, sur quinze partiels de fréquences inférieures à 100 hertz, il n'y en a que 5 correspondant à des partiels axiaux :

27,5 – 36,6 – 55 – 73,5 et 82,5.

D'autre part, le partiel 55 est obtenu par 2 combinaisons des 3 nombres $A B C$, alors que les autres ne sont données que par une seule.

Pour ces diverses raisons, on conçoit que, dans beaucoup de cas l'oreille perçoive la fréquence 55 à l'exclusion de toute autre : on dit alors, incorrectement d'ailleurs, que la salle a une note de résonance.

Cette note est particulièrement sensible dans les salles d'écho où l'amortissement général est faible.

CRISTAUX DETECTEURS AU SILICIUM POUR HYPERFREQUENCES

MELANGEURS-DETECTEURS

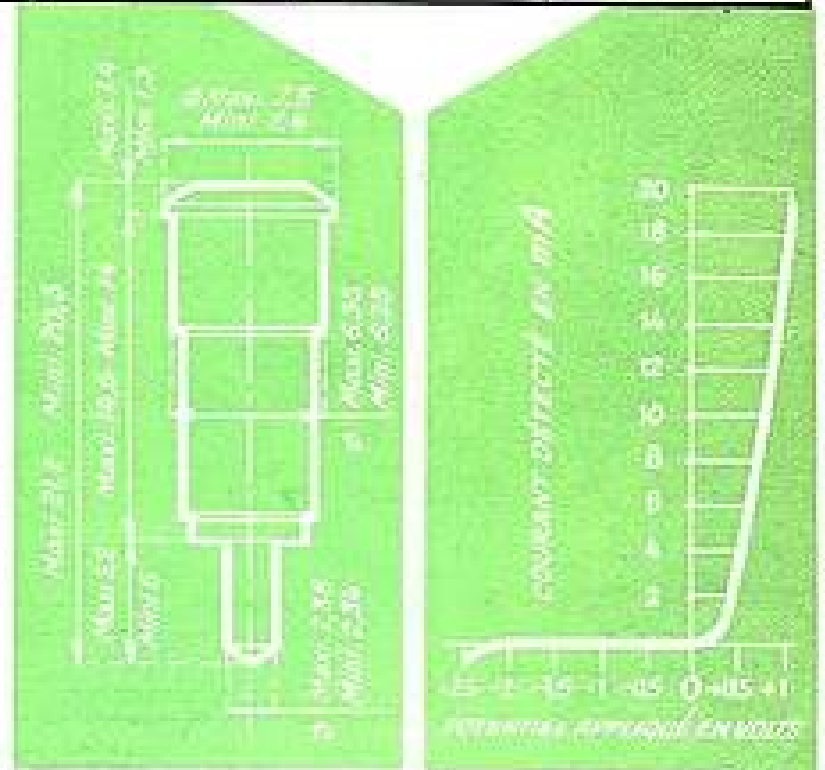


Ag. PUBLITEC-DOMENACH

DESIGNATION	TH 8121 B	TH 8021 B	TH 8121 C	TH 8021 C	TH 8123 B	TH 8023 B	TH 8123 C	TH 8023 C
		1 N 21 B USA	1 N 21 BR Inverse	1 N 21 C USA	1 N 21 CR Inverse	1 N 23 B USA	1 N 23 BR Inverse	1 N 23 C USA	1 N 23 CR Inverse
Equivalence USA								
Polarité								
Fréquence d'utilisation	MHz		MHz		MHz		MHz	
Pertes de conversion	dB		dB		dB		dB	
Rapport de température de bruit								
Énergie de l'impulsion d'essai de surcharge (durée 3×10^{-9} s)	erg		erg		erg		erg	
Taux d'ondes stationnaires dans le montage standard à 3060 MHz à 9375 MHz								
Impédance MF	Ω		Ω		Ω		Ω	
	3.000		3.000		10.000		10.000	
	< 6,5		< 5,5		< 6,5		< 6	
	< 2,0/1		< 1,5/1		< 2,7/1		< 2,0/1	
	2,0		2,0		1		1	
	> 0,5		> 0,5		> 0,5		> 0,7	
	200 à 800		200 à 800		200 à 600		300 à 500	

DETECTEURS A BAS NIVEAUX

DÉSIGNATION	TH 8132	TH 8032	TH 8031
Equivalence USA	1 N 32	1 N 32 R	1 N 31 R
Polarité	USA	Inverse	Inverse
Fréquence d'utilisation	MHz	MHz	MHz
Résistance R	Ω	Ω	Ω
Coefficient de Mérite M			
	3.000	3.000	10.000
	5.000 à 25.000	5.000 à 25.000	5.000 à 25.000
	> 100	> 100	> 55



DEPARTEMENT
SEMI-CONDUCTEURS

THOMSON HOUSTON

29 Bis rue de CRONSTADT
PARIS XV^e — IEC. 27-29

2.4.2. — FORME DES SALLES. — CRITÈRE DE BOLT.

On peut démontrer que, dans une salle quelconque, l'équation de propagation du son ne comporte de solution possible que pour une suite de valeurs discrètes de ω : il y a donc *toujours des partiels*, et en nombre très grand — sauf pour les salles petites et les fréquences basses.

Les résultats trouvés ci-dessus restent donc *valables*.

Il faut noter toutefois :

a) que pour des salles de *formes régulières* (parallélépipédiques, tunnels, salles voûtées, dômes, etc...), le taux de décroissance de certains partiels peut présenter certaines anomalies, c'est ainsi que *l'effet des matériaux absorbants est beaucoup moins efficace sur les surfaces concaves que sur les surfaces planes* ;

b) qu'au contraire, pour des salles de *formes irrégulières*, le taux de décroissance est, du fait de la forme, à peu près le même quel que soit le partiel.

On a donc intérêt à utiliser des formes irrégulières de préférence aux formes régulières.

BOLT a tenté d'exprimer par le calcul, dans le cas d'une salle parallélépipédique, le critère d'irrégularité d'une salle.

Le résultat auquel il est arrivé n'est pas convaincant et nous n'insisterons pas.

2.5. — Qualités d'une bonne salle.

2.5.0. — L'objet de ce chapitre est de définir non plus les propriétés *objectives* d'une salle donnée, comme nous l'avons fait jusqu'ici, mais de déterminer les conditions dans lesquelles une salle est considérée subjectivement comme *bonne* par les auditeurs et les exécutants.

2.5.1. — TEMPS DE RÉVERBÉRATION OPTIMUM.

Sa détermination résulte des observations faites dans des salles considérées comme bonnes. On l'évalue d'abord à une fréquence moyenne (500 hertz). On remarque :

a) que le temps optimum augmente avec le volume — mais assez lentement ;

b) que le temps optimum est plus faible pour la parole que pour la musique ;

c) qu'il varie avec le genre de musique et est particulièrement élevé pour la musique d'orgue ou la musique à rythme lent (églises).

Différents auteurs ont donné des formules exprimant la variation de ce temps optimum avec le volume.

Nous avons pu vérifier (en 1937) que les bonnes salles répondaient très sensiblement aux lois suivantes remarquables par leur simplicité :

$$\text{— pour les églises : } T_{opt} = \frac{1}{10} V^{1/3}$$

$$\text{— pour les salles de concert : } T_{opt} = \frac{9}{100} V^{1/3}$$

— pour les théâtres et les salles de conférences :

$$T_{opt} = \frac{7,5}{100} V^{1/3}$$

Ces formules présentent en outre un gros *intérêt théorique*.

Si l'on applique à une bonne salle la formule de SABINE :

$$T = \frac{0,16 V}{\alpha S}$$

en remplaçant T par T_{opt} , on trouve :

$$\alpha_{opt} = \frac{16}{9} \cdot \frac{V^{2/3}}{S}$$

Or, pour des salles régulières $\frac{V^{2/3}}{S}$ est sensiblement constant et voisin de $1/6$.

On en déduit $\alpha_{opt} = 0,3$

L'absorption optimum d'une salle est à peu près constante et voisine de 30 %.

L'oreille est donc *sensible*, non pas à la réverbération, comme on pouvait le supposer, mais à l'absorption : aucune explication de cette curieuse et remarquable propriété n'a été donnée.

2.5.2. — VARIATION DU TEMPS DE RÉVERBÉRATION AVEC LA FRÉQUENCE.

Tous les acousticiens ne sont pas d'accord sur la forme à donner à la courbe « temps de réverbération — fréquence » d'une salle.

D'une façon générale, on peut estimer qu'une courbe *aussi droite que possible*, exprimant qu'une salle a un temps de réverbération à peu près indépendant de la fréquence, est dans tous les cas satisfaisante.

Quelques corrections peuvent être apportées pour certains cas particuliers :

— dans les studios de parole, généralement petits, on a intérêt à augmenter l'amortissement des graves ;

— dans les studios de *musique légère et de jazz* où les instruments percutants et les cuivres sont nombreux, on a intérêt à augmenter l'amortissement des aigus ;

— dans les grands studios de *musique symphonique*, les Américains préconisent une diminution de l'amortissement des graves d'autant plus importante que la salle est plus grande (fig. 33).

le condensateur DE HAUTE QUALITÉ



Condensateurs électrolytiques
conformes aux normes JAN C 62

Condensateurs au papier
conformes aux normes MIL C 26 A

Condensateurs
au papier métallisé

est la spécialité

DE LA

Standard Téléphone et Radio S.A.

Zurich, Seestr. 395, Case postale Zurich 38, téléphone (051) 45 28 00 Succursale à Berne

1645

L.M.T. AGENT EXCLUSIF POUR LA FRANCE
46, QUAI DE BOULOGNE - BOULOGNE-BILLANCOURT (SEINE) - TÉL.: + MOL. 50-00

Pour les auditoria de 30 000 m³, on peut ainsi multiplier par 1,5 le temps de réverbération aux fréquences inférieures à 200 hertz.

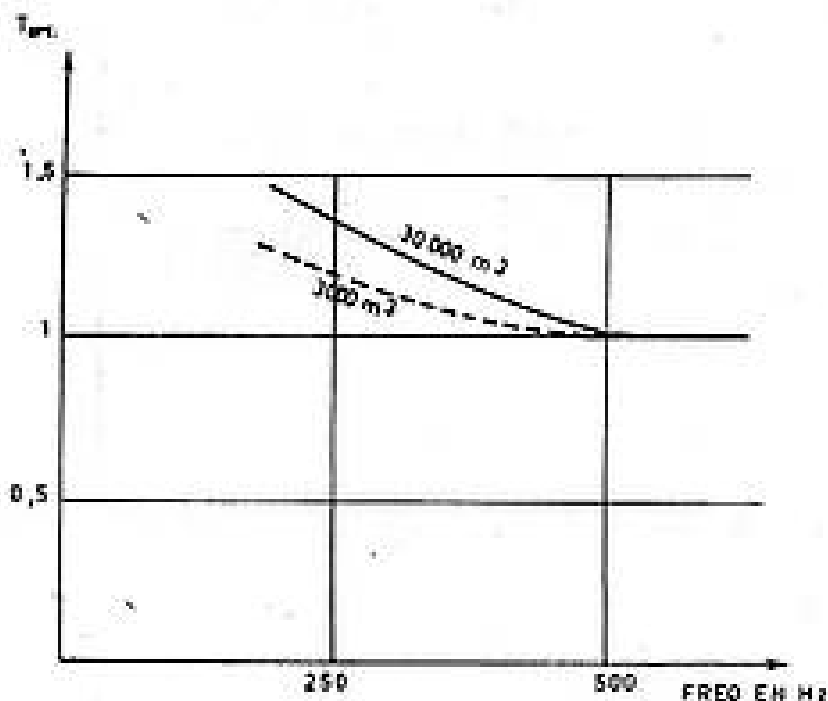


FIG. 19

2.5.3. — NOMBRE FAVORABLE D'AUDITEURS ET D'EXÉCUTANTS.

C'est l'expérience des bonnes salles qui permet de déterminer approximativement le nombre le plus favorable d'auditeurs.

La formule $N = 3 V^{2/3}$

donne une idée de ce nombre en fonction du volume.

- Soit : pour 1 000 m³ ——— 300 auditeurs
- 8 000 m³ ——— 1 200 auditeurs
- 27 000 m³ ——— 2 700 auditeurs

Il convient de noter que : par leurs vêtements, les auditeurs apportent une absorption moyenne qui dépasse 50 %. Il est utile de prévoir des sièges *absorbants*, calculés de façon telle qu'en l'absence d'une partie du public, la réverbération de la salle ne soit pas trop modifiée.

Quant au nombre des exécutants, il est déterminé en fonction du volume par la formule :

$$n = \frac{V_{m^3}}{50 m^3}$$

Mais cette formule est encore plus approximative que la précédente : le nombre optimum des exécutants dépend beaucoup des qualités acoustiques de la salle.

Il est recommandé de ne pas descendre au-dessous de 25 m³ par musicien.

Adopter 50 m³ constitue une honorable moyenne.

Mais on peut, sans danger et souvent, dans de bonnes conditions, atteindre 75 m³ et même parfois 100 m³.

2.5.4. — CRITÈRE DE BONNE DÉFINITION DE LA MUSIQUE.

Un trop petit nombre de musiciens dans une grande salle ne gêne en rien la musicalité de l'exécution, mais a tendance — comme un temps de réverbération trop élevé — à empêcher la reconnaissance facile des différents instruments intervenant dans l'exécution.

On ressent à l'écoute une espèce de *confusion générale*, pas désagréable à l'oreille, mais pénible au spécialiste porté à essayer d'apprécier le jeu de chacune des parties : on dit qu'il y a « mauvaise définition » de la Musique.

Cette définition paraît liée au rapport :

$$O = \frac{E_R}{E_D}$$

(E_R énergie réverbérée ; E_D énergie directe)

Comme à la distance d de la source

$$E_D = \frac{P}{4\pi\Omega} \cdot \frac{1}{d^2} \quad (P \text{ puissance de la source}).$$

et que $E_R = \frac{4P}{\sigma S\Omega}$

(formule facile à trouver en cherchant la limite de la densité d'énergie dans une salle alimentée par une puissance sonore constante P).

On en tire $O = 100\pi \cdot \frac{Tr d^2}{V}$

qui permet de calculer O à toute distance de la source.

Il est *important*, pour que la définition de la musique soit bonne, qu'en tout point utile de la salle :

$$O \leq 15$$

Remarque. — Si l'on veut étendre la zone de bonne définition, on peut augmenter artificiellement E_D en disposant, quand c'est possible, autour de la source des *panneaux réfléchissants* convenablement orientés, dont le rôle est de renforcer apparemment le son direct.

2.5.5. — QUALITÉS D'UNE SALLE DU POINT DE VUE DE L'EXÉCUTANT.

L'expérience donne enfin les qualités qu'exige l'exécutant (orateur ou chanteur) — pour que la production soit aussi facile que possible. Les expériences de Husson conduisent aux résultats suivants:

Si $T < 0,5$ s, la phonation est pénible et fatigante (gêne maxima en air libre T voisin de 0) ;

Si $0,5 < T < 1$ s, la fatigue n'est excessive que pour un effort prolongé ;

Si $1 < T < 2$ s, la gêne est légère ;

Si $2 < T < 4$ s, la phonation est facile, le chanteur « sent sa voix ».

Ces chiffres sont assez différents de ceux qui correspondent à une bonne audition pour le public.

Pour résoudre cette contradiction, on joue sur la réverbération *locale* en rendant plus particulièrement réfléchissante la zone où se tient l'orateur ou le chanteur : ceci explique en particulier l'intérêt des décors *en dur* (contreplaqué par ex.) par rapport aux décors en toile.

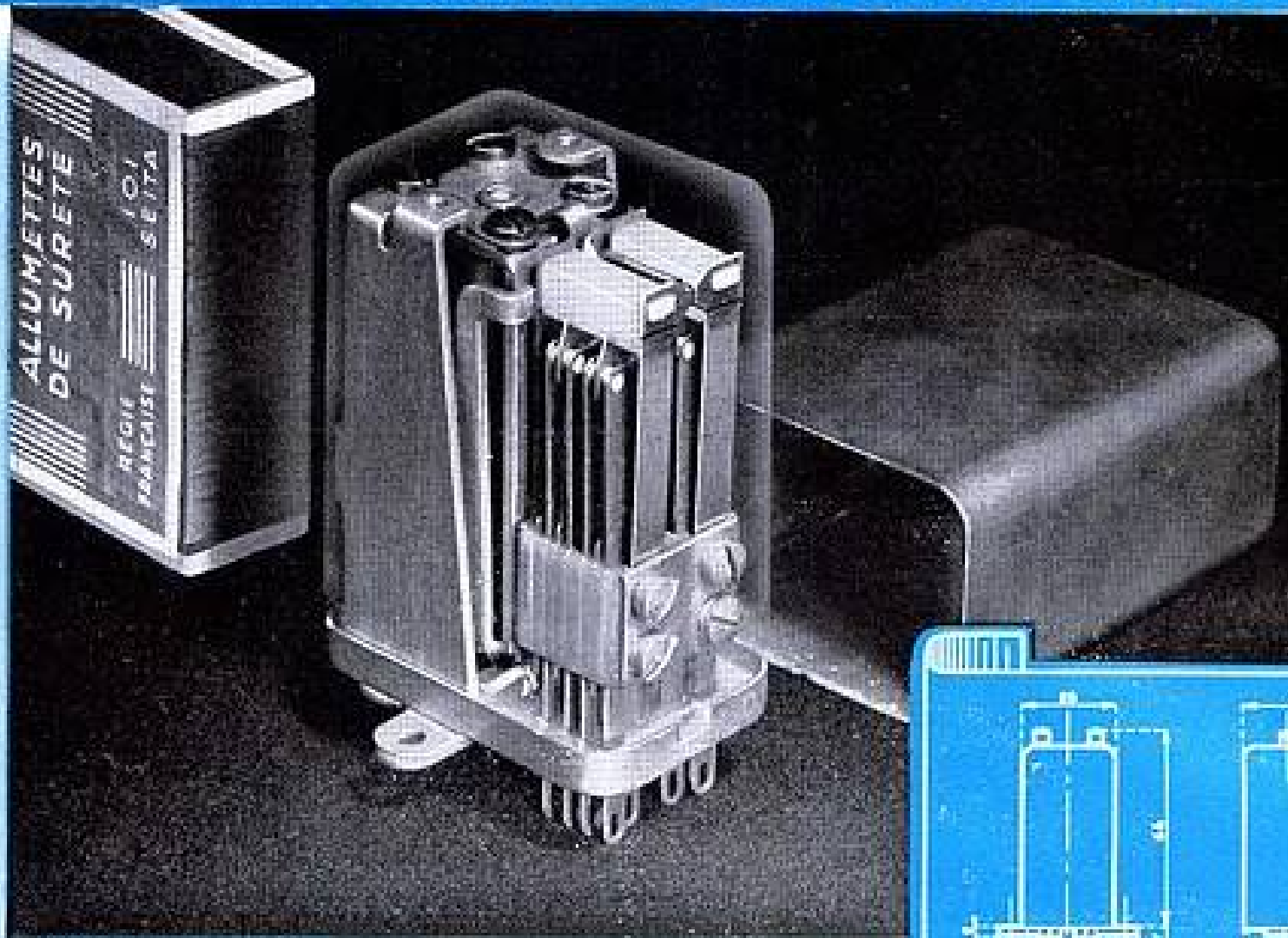
2.5.6. — INSUFFISANCE DU CRITÈRE DE SABINE. — RECHERCHES NOUVELLES.

SABINE pensait trouver dans *le temps de réverbération*, le seul critère de qualité d'une salle, ou tout au moins le critère essentiel.

LYON a montré qu'il fallait en outre supprimer les échos et que c'était un *autre* problème.

Actuellement, on admet que ces deux éléments, malgré leur importance ne suffisent pas à définir les propriétés acoustiques d'une salle. On admet aussi, et c'est une simple hypothèse, que l'on peut, traduire en chiffre un certain nombre d'autres éléments qui paraissent, à première vue, assez subjectifs. Des recherches importantes se poursuivent pour les déterminer, et il paraît certain que les prochaines années apporteront en Acoustique architecturale des changements assez importants.

6.000.000 de MANOEUVRES...



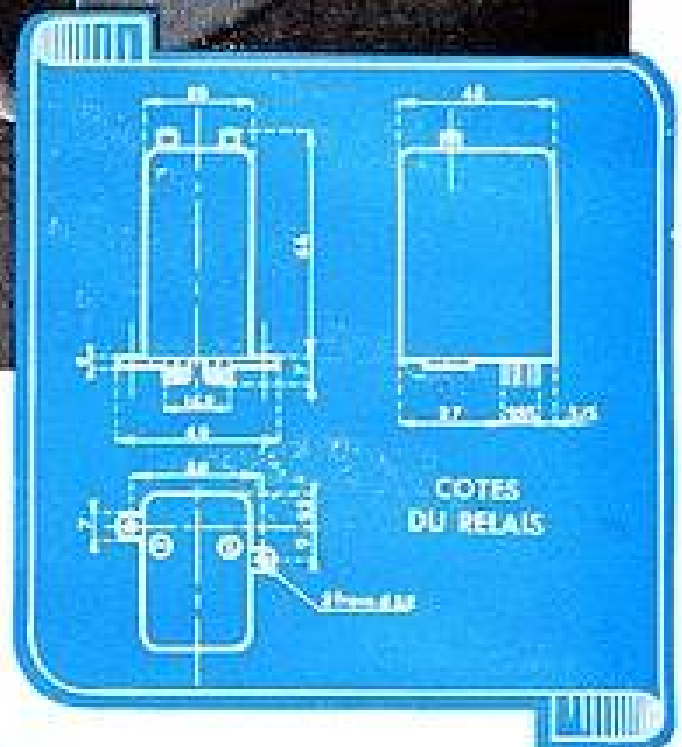
Le nouveau **RELAIS "AY"**

DIX caractéristiques nouvelles assurent à ce nouveau relais une sécurité de fonctionnement absolue.

- Contact double
- Pression supérieure
- Pas de cambrage de lames
- Alignement automatique des contacts
- Pas d'usure d'axe (pas de jeu possible)
- Rappel cabribré par ressort indépendant
- 0,8 Watt pour 4 RT, 1,6 Watt pour 8 RT
- Le bloc moulé supprime les défauts d'empilages, il assure l'interchangeabilité automatique, un isolement tropical parfait.

Par ailleurs, les usines **BERNIER** fabriquent tous les organes de raccordement et de commutation concernant l'électronique.

Brevets internationaux



- ★ APPAREILLAGE ÉLECTRONIQUE
- ★ PRISES MULTIBROCHES
- ★ JACKS, FICHES DE JACKS...
- ★ RELAIS H. F. ET H. T. ET DE TÉLÉCOMMANDE
- ★ RELAIS TÉLÉPHONIQUES
- ★ RELAIS POLARISÉS



BERNIER & C^{IE} 19 RUE MALTE-BRUN - PARIS XX^e - MEN. 07-24

AGENCE PUBLÉDITEC DOMENACH

ASPECT ACOUSTIQUE DE L'ÉTUDE DES GRANDS AUDITORIA

PAR

R. LAMORAL

Ingénieur-docteur, Ingénieur des Télécommunications

Lorsque l'on se trouve en présence d'une grande salle, c'est-à-dire d'un volume égal ou supérieur à 3 000 m³, l'acousticien doit résoudre plusieurs problèmes acoustiques distincts, certains d'entre eux étant parfois passés sous silence. Il est hors de doute qu'une étude approfondie est nécessaire et pour s'en persuader il n'est que de visiter certaines salles de cinéma existantes et, ce qui est plus grave, de concerts ou de conférences.

Essayons donc de passer en revue les différents points à étudier particulièrement.

I. — Recherche du temps de réverbération optima.

Étant donnée une salle d'un volume déterminé et d'une utilisation bien définie, il existe des tables fournissant le temps de réverbération optimum à réaliser.

Le volume, la surface des parois et les coefficients d'absorption des divers matériaux de revêtement sont reliés ensemble par les formules de SABINE, EYRING et MILLINGTON bien connues des acousticiens.

Cette partie de l'étude est donc assez banale, cependant quelques remarques peuvent être formulées à ce sujet :

— Les temps de réverbération « optima » varient assez considérablement d'un auteur à l'autre ; pour s'en rendre compte, il suffit de comparer les valeurs données par MM. KNUDSEN et BRUEL pour un même volume.

En réalité, dans ce domaine comme dans beaucoup d'autres, il y a une mode et par ailleurs des goûts différents selon les pays. Pour une même utilisation et un même volume, on préférera un temps de réverbération de 2 secondes en Allemagne, 1.5 aux U. S. A. et 1.7 à 1.8 en France.

— La courbe du temps de réverbération en f (fréquence) est très importante. Bien souvent on acceptera une valeur moyenne très inférieure, ou très supérieure à la valeur optimum si la courbe

T. R. en f (fréquence) est rectiligne, ou même si les aigus et les basses sont équilibrées (une courbe en V est acceptable).

Par contre, un temps de réverbération décroissant avec la fréquence est défavorable, même si sa valeur moyenne (en général à 500 Hz) est correcte.

— Le ou les revêtements acoustiques ne doivent pas être placés au hasard. Ils ont souvent des emplacements déterminés par la 2^e partie (recherche de la forme) et par l'utilisation de la salle. Il est par exemple indiqué d'avoir, dans un théâtre, la zone de scène à peu près aussi absorbante que le reste du volume, alors que dans une salle de concert la zone d'orchestre doit être plus réverbérante que la zone spectateurs. Dans ce dernier cas, cela vient de ce que les musiciens ont l'impression d'une sonorité plus riche ; mais cette sorte de déséquilibre doit être maniée avec les plus grandes précautions, car dans certains cas bien connus, on obtient trop facilement un phénomène de salles couplées (l'auditeur, placé dans la partie absorbante a la sensation d'être dans un jardin et d'écouter, par la fenêtre, une musique réverbérée).

Enfin, si une partie des matériaux acoustiques est d'un certain type (poreux) et une autre d'une famille absorbant une toute autre gamme de fréquences, il faut soigneusement éviter de les grouper séparément en grandes surfaces : il est intéressant de les mélanger au maximum, d'abord pour augmenter l'homogénéité de la salle, ensuite pour apporter un peu de diffusion due à l'effet de bord au passage d'un matériau à l'autre.

2. — Recherche de la forme.

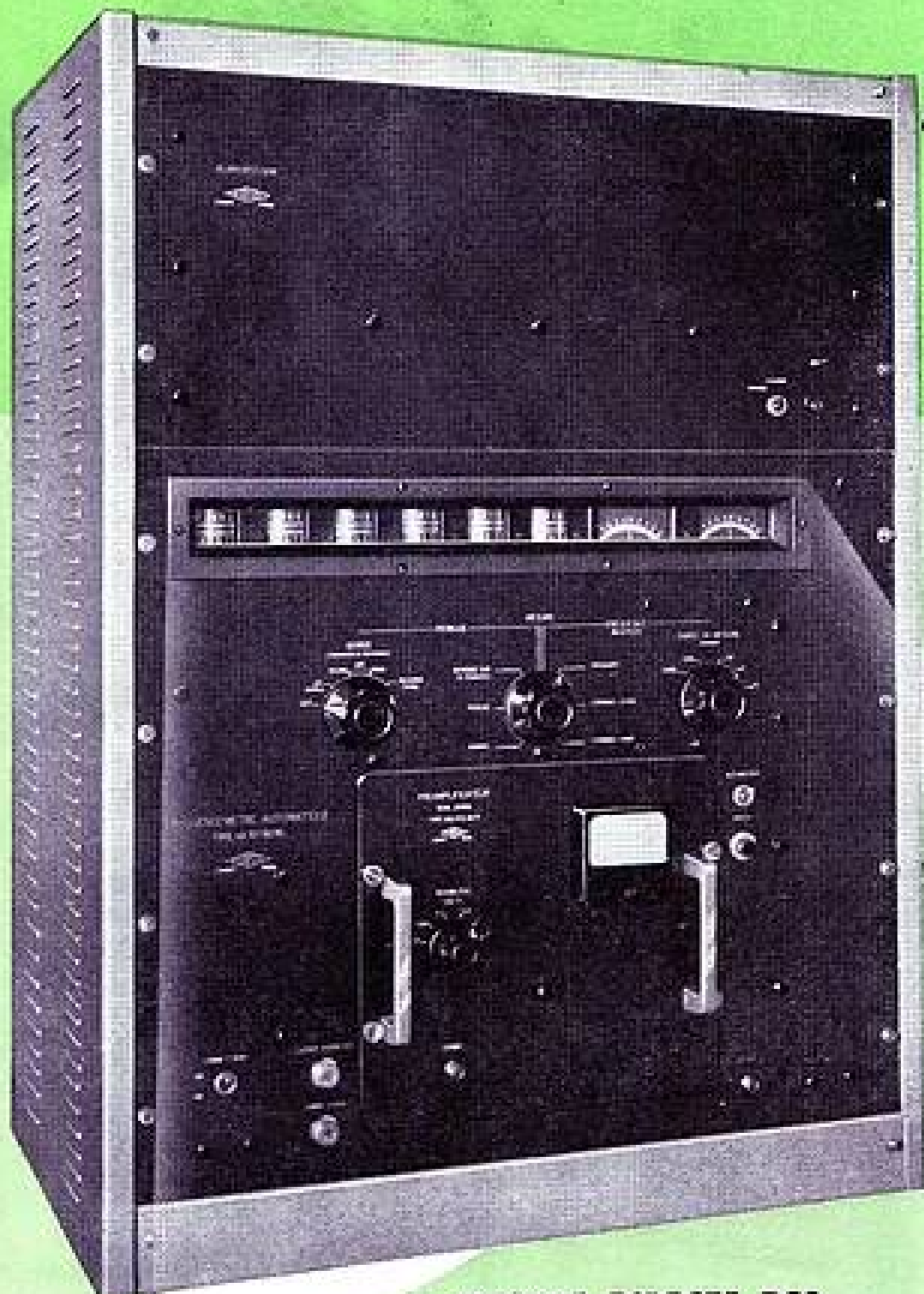
— La forme de la salle est extrêmement importante. D'elle dépend en effet l'homogénéité du champ sonore, la grandeur du rapport $\frac{\text{son direct}}{\text{son réverbéré}}$ et ce qui est peut-être encore plus déterminant, l'absence ou non d'échos francs, flutter echos et focalisations.

Fréquence-mètre

Automatique

TYPE

HA 101



**LECTURE DIRECTE
jusqu'à : 10 MHz**

RÉSUMÉ DES CARACTÉRISTIQUES

MESURE DES FRÉQUENCES

Affichage direct de 10 Hz à 10 MHz.
Par convertisseurs : de 10 MHz à 200 MHz.

Précision : $\pm 1 \cdot 10^{-4} \pm 1$ cycle (quartz incorporé).

Possibilité de mesures jusqu'à 10.000 MHz par la méthode hétérodyne.

MESURE DES PÉRIODES

De 0 à 10 kHz.

Durée de mesure : 1 ou 10 cycles de la fréquence inconnue.

Précision : $\pm 0,3\%$ (sur une période).
 $\pm 0,03\%$ (moyenne sur 10 périodes).

Lecture : en secondes, millisecondes, ou microsecondes.

MESURE DES DURÉES

De 1st S à 10 secondes.

Début et fin de mesure : commande commune ou séparée.

Lecture : en secondes, millisecondes ou microsecondes.

Documentation franco sur demande.

← **MESURE DIRECTE DES
FRÉQUENCES, DES
PÉRIODES, DES DURÉES
AFFICHAGE DANS LE
SYSTÈME DÉCIMAL, POSI-
TIONNEMENT AUTOMATI-
QUE DE LA VIRGULE.**

Fréquence affichée :



6745,7673 kHz

ETS GEFROY & C^{IE}

SOCIÉTÉ ANONYME CAPITAL 72.192.000 F

18, Avenue P. VAILLANT-COUTURIER - TRAPPES (S. & O.) - Tél. : MAN. 97-36 à 97-38

D'une manière générale on résout ce problème à l'aide d'épures géométriques, réalisées sur la salle vue en plan, en coupe longitudinale et en coupe transversale. On arrive ainsi à avoir une idée de la répartition de l'énergie sonore en fonction des divers emplacements possibles d'écoute (zones des auditeurs et des microphones). On arrive aussi à mettre en évidence des échos dangereux en appliquant les principes de l'acoustique géométrique et à condition de se limiter graphiquement à la première réflexion. Le grave inconvénient de ce système est l'obligation de se limiter à la première réflexion (il est matériellement très difficile d'aller plus loin que la seconde réflexion) et surtout l'exécution de ces épures en deux dimensions seulement : on laisse ainsi de côté les rayons obliques ce qui entraîne une approximation des plus grossières.

Il faut donc considérer cette méthode comme très commode pour un dégrossissage ou encore pour établir la forme approximative d'une maquette destinée à une étude plus approfondie.

— Cette utilisation de maquettes pour l'étude de la forme a déjà été décrite lors de sa mise au point à la division acoustique de la R.T.F.

Depuis, les grandes salles de la Maison de la Radio de Paris, des Maisons de la Radio de Strasbourg, Marseille et autres ont été étudiées par cette méthode qui semble très simple d'application.

Considérons un auditorium en grandeur réelle et la propagation d'un son pur à 1 000 Hz pour plusieurs positions de source et de réception. On admet l'analogie de propagation d'un son à 30 kHz dans une maquette au 1/30, ou de 20 kHz dans une maquette au 1/20. Autrement dit on conserve le même rapport entre les dimensions et la longueur d'onde.

On envoie des impulsions de 1 milliseconde toutes les 10 millisecondes (contenant la fréquence ultrasonique considérée).

Ces valeurs permettent de noter dans un auditorium des échos distants de l'onde primaire de 30 à 300 millisecondes, donc de ne laisser inaperçu aucun écho dangereux (d'après les travaux de HAAS et BOLLE). Ces ondes réfléchies ainsi que l'onde directe sont visibles sur un écran d'oscillographe (exemple sur la fig. 4) qui donne immédiatement

avec une grande précision la différence de marche entre deux impulsions quelconques (en millisecondes) et leur rapport d'intensité.

De deux choses l'une, ou ces ondes secondaires sont dangereuses, ou elles ne le sont pas. Si elles ne le sont pas, aucune modification de forme n'est nécessaire. Si une réflexion particulière n'est pas acceptable, on recherche la zone des parois de la maquette qui en est responsable : avec un petit



FIG. 1. — Schéma d'ensemble.

échantillon de matériau absorbant on annule la réflexion à éliminer par tâtonnements. On a donc ainsi repéré la zone dangereuse dont il suffit alors de modifier la forme. Dans le cas où pour des raisons de construction ou d'esthétique, cette zone ne peut voir sa forme transformée, on sait qu'elle devra être revêtue d'un matériau absorbant.

La même opération est recommencée avec pour positions de source sonore divers points possibles pour l'orchestre et pour positions de microphone-sonde un certain nombre d'emplacements possibles pour les auditeurs ou le microphone de prise de son.

L'ensemble de ces mesures ne prend guère plus de 2 à 3 jours, plus évidemment le temps nécessaire à la réalisation de la maquette.

3. — Éléments diffusants.

La diffusion dans une salle est encore une notion mal définie et sujette à discussions. Il en est parlé par ailleurs dans ce numéro (irrégularités dans les salles). Disons que les éléments diffusants sont des irrégularités de surface amenant une distribution

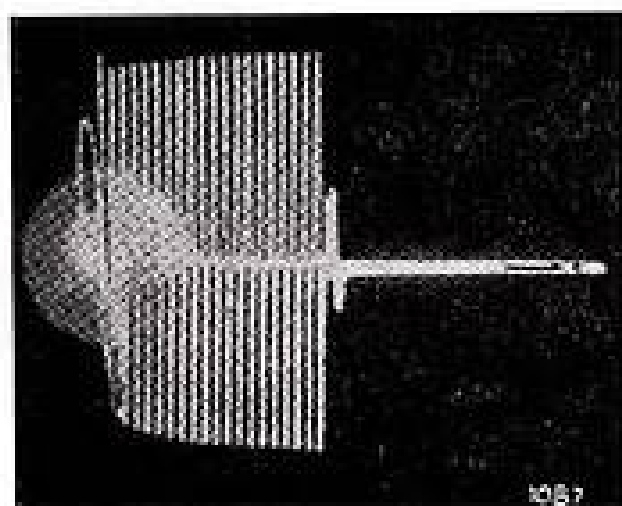


FIG. 2. — Forme du signal électrique à la sortie du générateur à impulsions.

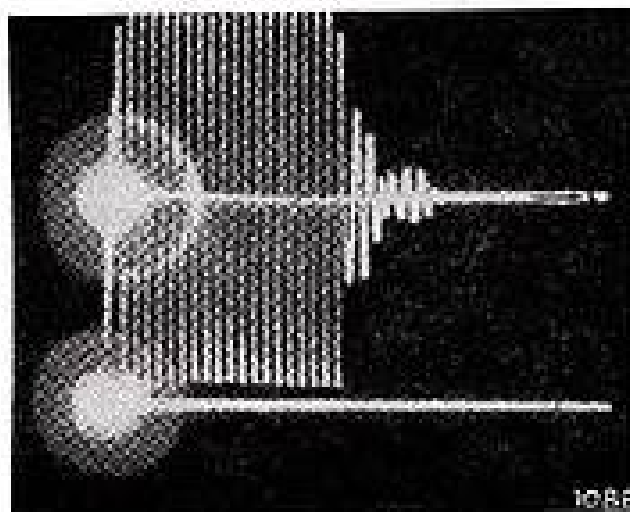


FIG. 3. — Forme du signal après passage par le haut-parleur et le microphone sonde.

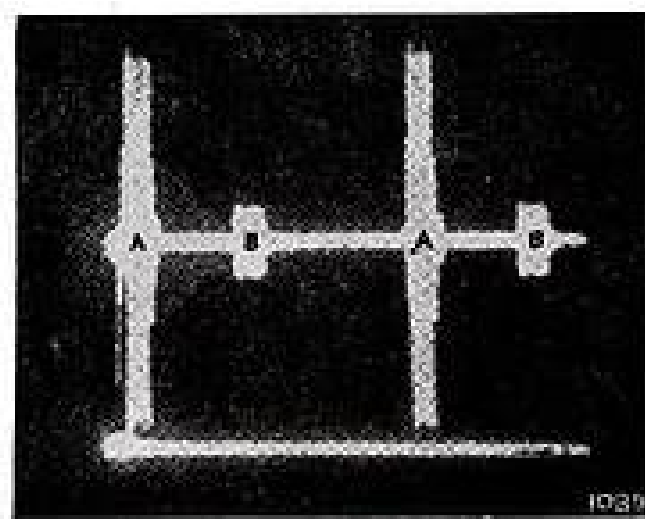


FIG. 4. — A, Impulsions initiales (onde directe). B, Impulsions réfléchies (première et unique réflexion dans ce cas).

OSCILLOGRAPHES POUR B. F. - POUR H. F. - POUR IMPULSIONS - POUR ONDES DE CHOC - VOLTMÈTRES ÉTALONS

OSCILLATEURS DE TOUTES FRÉQUENCES - ÉTALONS DE TOUTE NATURE - PONTS POUR

TOUTES FRÉQUENCES - STROBOSCOPES - BOITES DE RÉISTANCES - DE CAPACITÉS - D'INDUCTANCES - ANALYSEURS D'ONDES

Mesure

ANALYSEUR DE BRUIT A BANDES D'OCTAVE DE LA GENERAL RADIO CO



et

ANALYSE DES

bruits...

PROBLÈME RÉSOLU
PAR LES APPAREILS
DE LA

GENERAL RADIO CO

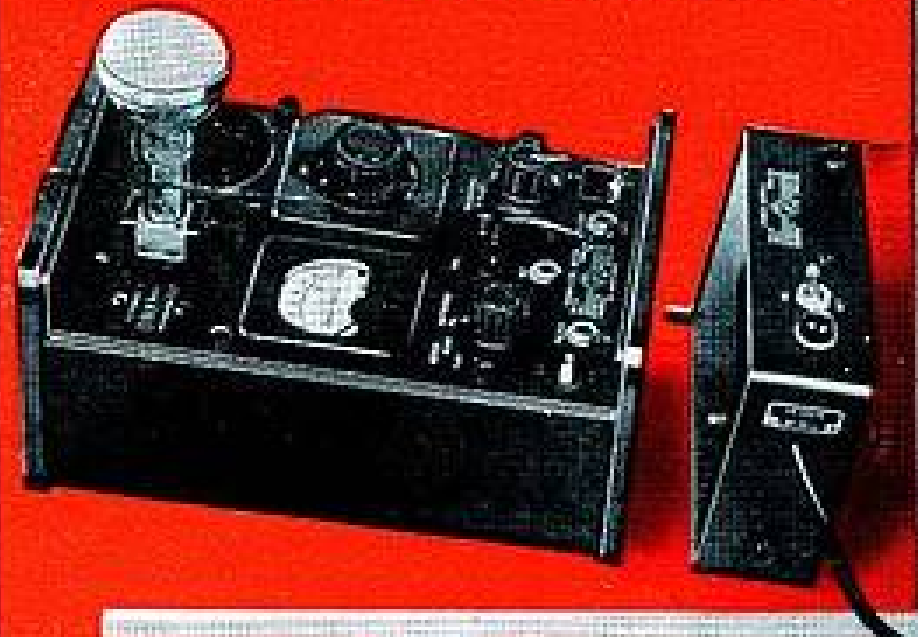
★

AUTRES FABRICATIONS

- 1551 A - Sonomètre ● 1555 A - Contrôleur de sons ● 759 P. 25 - Microphone dynamique ● 2551 P.I. — Microphone Electrostatique ● 1552 A. Calibrateur pour sonomètres ● 760 B - Analyseur de sons ● 761 A Mesureur de vibrations ● 759 P. 35 - Pick-up de vibrations ● 762 B - Analyseur de vibrations.

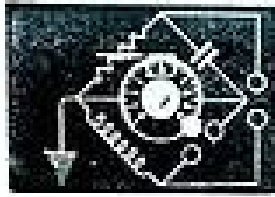
Ces appareils de mesures
SONT TOUJOURS IMPORTÉS PAR
LEUR AGENT EXCLUSIF

SONOMÈTRE DE PRECISION



SONOMÈTRE

PORTATIF



ETS RADIOPHON

10, BOULEVARD DU FAUBOURG POISSONNIÈRE - PARIS-8

TÉLÉPHONE
PRO. 52-03
- 52-04

AMPÈREMÈTRES ÉTALONS - WATTMÈTRES ÉTALONS - FRÉQUENCEMÈTRES - ETC. ETC

d'énergie sonore plus régulière et cherchant à brasser les fréquences propres inévitables entre deux ou plusieurs parois planes. Cet effet peut être obtenu par exemple par des polycylindres, calottes sphériques, redans, caissonnages, colonnes ou discontinuités dans les revêtements acoustiques.

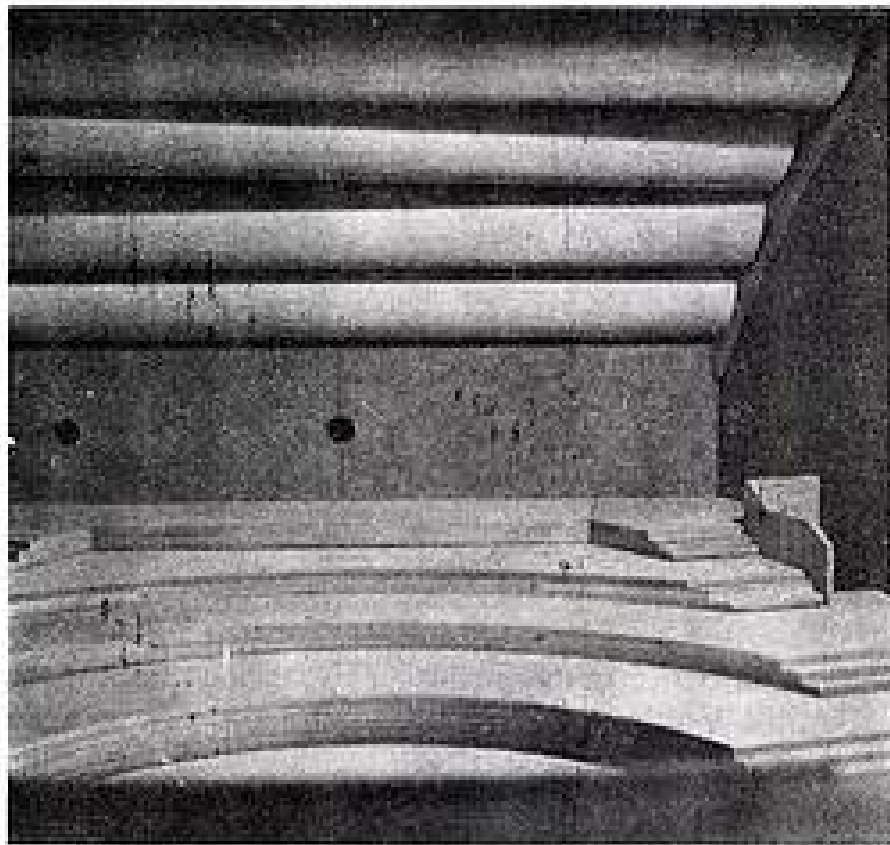


FIG. 5. — Vue intérieure de la maquette d'un studio de concert, côté orchestre. Cette forme n'a pas été retenue (8 000 m², Maison de la Radio de Paris).

La grande difficulté consiste à doser cet effet à une valeur convenable, laquelle n'est pas la même pour une salle de concert et un théâtre. Il ne faut pas,

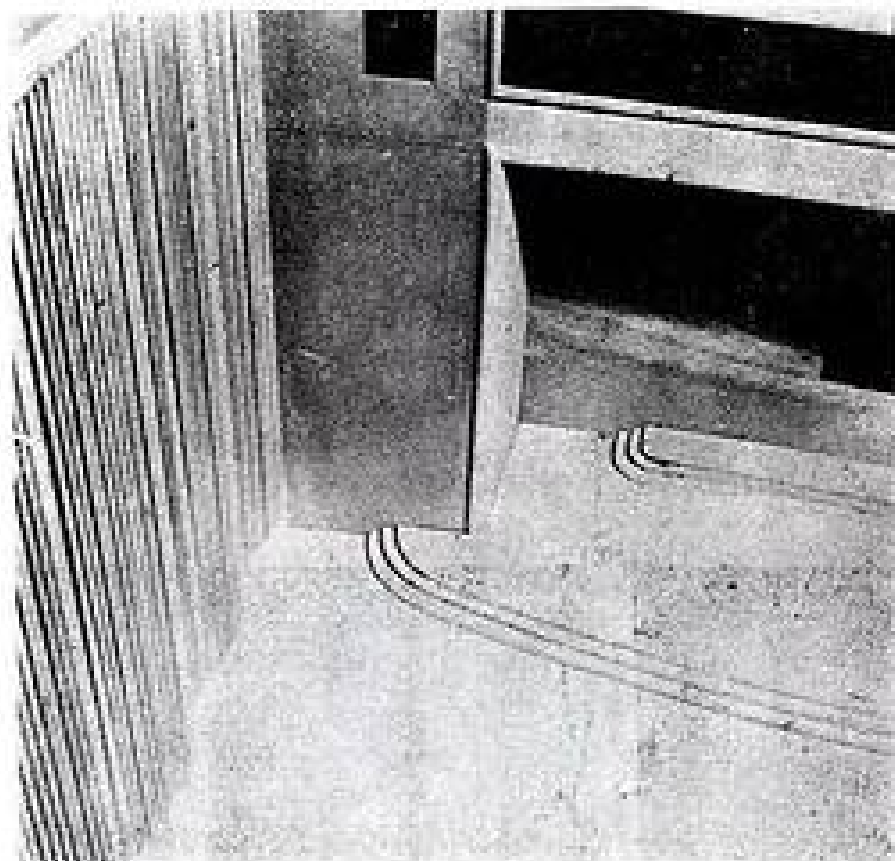


FIG. 6. — Vue intérieure de la 2^e maquette du studio 8 000 m². Les parois sont des profilés de bois placés en redans. Le revêtement acoustique proprement dit sera masqué par ces profilés diffusants.

dans tous les cas exagérer cette diffusion car on risque alors l'impossibilité pour un metteur en ondes de donner un relief sonore à une émission dramatique (impression d'éloignement, ou de déplacement par

rapport au microphone). On risque de la même manière que l'auditeur placé dans une salle de concert ait une impression de confusion (n'ayant rien à voir avec un temps de réverbération trop élevé, lequel donne un peu la même sensation).

En résumé, cette partie de l'étude acoustique est celle qui demande le plus d'expérience et ne peut pour l'instant être résolue, même approximativement, sur le papier. Tout au plus peut-on, pour un

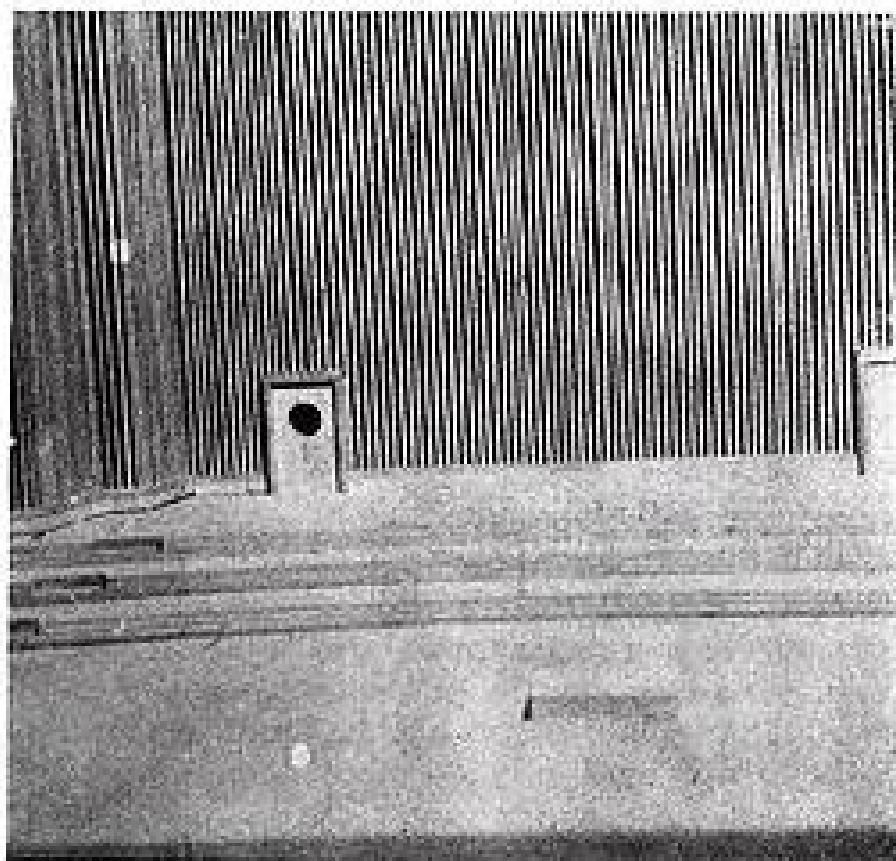


FIG. 7. — Autre vue de la même maquette.

volume donné et une utilisation déterminée avoir un ordre de grandeur de la surface à rendre irrégulière ainsi que des dimensions des irrégularités.

1. — Isolements.

Bien entendu, ce problème de l'isolation phonique est tout à fait distinct des trois autres. Il semble nécessaire cependant de le rappeler simplement ici, ne serait-ce que pour mémoire, puisqu'il est traité en détail dans d'autres articles.

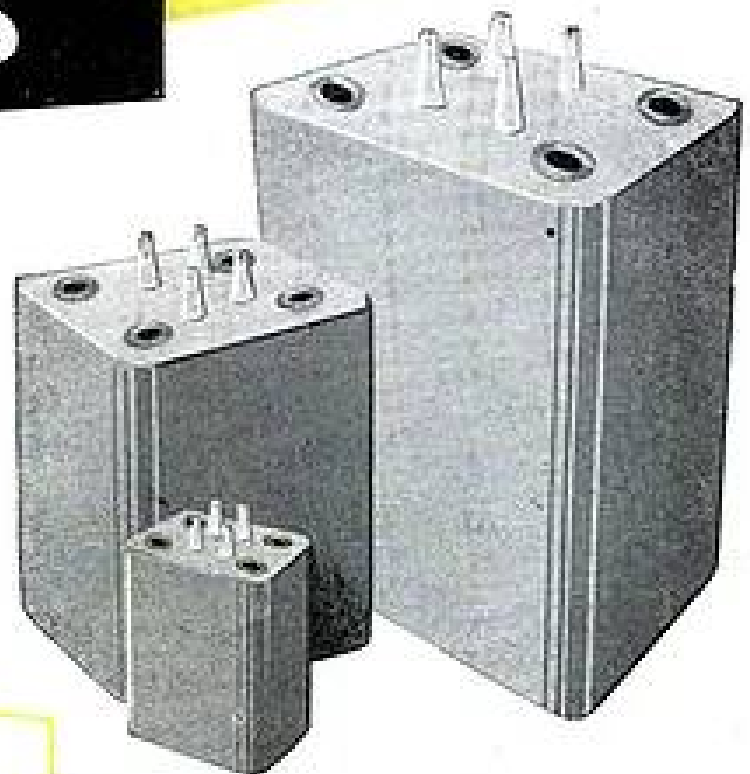
En radiodiffusion on demande des isolements très élevés (parce que l'« écoute intelligente » ne peut avoir lieu pour un auditeur qui entend avec une attention équivalente tout ce qui est enregistré par le microphone de prise de son, alors qu'un spectateur de cinéma à l'attention concentrée sur le dialogue des acteurs qu'il voit évoluer et oublie les bruits parasites). Ces isolements entraînent presque obligatoirement des murs doubles, avec fondations indépendantes lors de grandes salles contiguës (un orchestre symphonique a des pointes de niveau de 110 phones environ).

Dans les autres cas on se contente de solutions moins onéreuses mais il est bon de ne pas perdre de vue le fait suivant : il est difficile d'améliorer un isolement phonique déficient, et c'est toujours onéreux. Là encore la collaboration de l'acousticien avec l'architecte a intérêt à commencer dès l'avant-projet.

3 nouvelles séries de

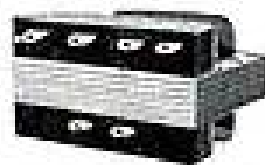
TRANSFORMATEURS

BLOCS ÉTANCHES EN
"ARALDITE"
SUPPRESSION DES BOITIERS
ET DES FUITES



TRANSFORMATEURS
SUR CIRCUITS
A GRAINS ORIENTÉS
"C. CORE"

TRANSFORMATEURS
MINIATURES
POUR TRANSISTRONS



LABORATOIRE INDUSTRIEL D'ÉLECTRICITÉ
41, RUE ÉMILE-ZOLA - MONTREUIL-/S-BOIS - AVRON 39-20+

MATÉRIEL DE QUALITÉ

L'ACCROISSEMENT DE NOTRE PRODUCTION A PERMIS UNE DIMINUTION DE NOS PRIX
(NOUVEAU TARIF SUR DEMANDE)

STUDIOS RÉCENTS DE RADIODIFFUSION

CENTRE DE MARSEILLE

PAR

J. PUJOLLE

*Ingenieur en Chef des Télécommunications
à la R. T. F.*

I. — Historique.

Le nouveau Centre de la R. T. F. à Marseille a été aménagé de 1952 à 1954 dans un bâtiment du Parc Chanot, l'ancien Palais des Congrès. Ce dernier avait été retenu parce qu'il contenait une très grande salle qui pouvait être transformée en un grand studio, ce dont avait le plus besoin à l'époque la radiodiffusion à Marseille. C'est donc un grand studio de 3 000 m² qui fut d'abord aménagé en 1952.

Puis il fut jugé nécessaire de remplacer les vieux studios de la rue Croix de Régnier et de tout regrouper autour du grand studio. C'est ainsi que le Palais des Congrès fut complètement transformé, agrandi et qu'un bâtiment lui fut adjoint en vue d'y implanter la télévision.

II. — Dispositions générales du Centre.

Le centre comporte donc un corps principal où est installé la partie radiodiffusion avec les services de la direction régionale et une aile nouvellement construite le long de l'Avenue Richard pour la télévision avec une tour qui supporte les antennes relais vers le poste émetteur du massif de l'Étoile.

Le bâtiment principal renferme en son centre le grand studio n° 1 bien isolé de l'extérieur par une ceinture de bureaux et de locaux divers.

Comme le bâtiment se trouve dans l'enceinte de la foire de Marseille, il avait été demandé de prévoir une galerie de visite le long du grand studio avec vue sur ce dernier pour les personnes qui seraient intéressées pendant la foire par le déroulement d'une émission. On trouve ainsi sur deux côtés du studio 1 de vastes dégagements dans lesquels peut circuler un public assez important.

Au rez-de-chaussée nous trouvons les locaux annexes du grand studio, notamment foyer pour les musiciens, dépôts d'instruments, une filmothèque où sont entreposés les enregistrements nécessaires à la vie de la maison avec cabine d'écoute où peut être appréciée la qualité des enregistrements. Le long d'une galerie fermée par de grandes glaces ayant vue sur un petit jardin en bordure de l'avenue Richard se trouvent deux petits studios, n° 4 et 5.

Dans l'aile télévision le rez-de-chaussée est occupé par un grand hall qui sépare la partie Radiodiffusion de la Télévision. De là on accède au studio de télévision avec ses locaux annexes, notamment foyer et loges, et aux salles du télécinéma où passent les films pour les émissions enregistrées.

Le premier étage du bâtiment principal renferme les bureaux et locaux techniques qui ceinturent le grand studio, en particulier un petit studio n° 3, la salle technique, centre nerveux de la maison et deux cabines d'enregistrement. L'ancienne salle de conférence a été transformée en un studio moyen de 800 m², le n° 2.

Dans l'aile télévision trouvent place une salle de projection des films avec sa cabine et une petite régie de sonorisation des films, une cantine pour le personnel et une salle de réunion, ainsi que divers bureaux et locaux techniques.

Une longue galerie réunit au niveau de l'étage la télévision au centre Basse-Fréquence, évitant ainsi pour aller de l'un à l'autre un long détour par le rez-de-chaussée.

III. — Dispositions acoustiques.

Dans un tel centre plongé parfois dans des bruits intenses, entouré d'une foire et d'un stade, accessible

au public, il était indispensable de prendre d'importantes précautions d'isolement acoustique. Le grand studio est séparé de l'extérieur par une ceinture de locaux divers qui amortissent les bruits provenant de l'extérieur. Comme les bruits peuvent être forts dans les circulations qui longent le studio lui-même notamment pendant les visites de la foire, il a été nécessaire de construire une double enveloppe dans le bâtiment lui-même qui constitue en quelque sorte une troisième enveloppe.

Les deux enveloppes intérieures sont constituées par un double mur de 30 cm en béton banché et de 15 cm en brique avec un intervalle d'air de 20 cm. Ce volume intermédiaire contient une grande quantité de laine de verre pour l'amortissement des résonances intérieures.

Les murs intérieurs ont une fondation qui leur est propre, aussi indépendante que possible des fondations du bâtiment.

Un double plafond est aménagé sous l'important plafond de l'ancien bâtiment.

Quatre ouvertures percées dans le double mur et fermées chacune par des triples glaces permettent aux visiteurs de voir tout ce qui se passe à l'intérieur du studio. L'accès au studio se fait par l'intermédiaire d'un sas très amorti et de deux portes acoustiques.

Les précautions prises pour l'isolement du studio 2 sont aussi très importantes. L'enveloppe extérieure constituée par l'ancienne salle des Congrès a été renforcée, les baies vitrées ont été bouchées, et une deuxième enveloppe a été construite à l'intérieur, aussi indépendante que possible du bâtiment. Comme ce studio se trouvait placé au-dessus d'un grand hall, quelquefois bruyant, un faux plafond a été ajouté dans ce hall, plafond formé de plaques de plâtre perforées sous 5 cm de laine de verre.

Le principe de la double enveloppe a été retenu pour les autres studios. A noter pour le studio de télévision un sol spécial de granilastic, matière très robuste et insonore reposant sur des plots espacés de 50 cm les uns des autres.

IV. — Traitements acoustiques des Studios.

Les traitements acoustiques des studios et des locaux techniques ont été l'objet de soins attentifs de la part du service d'acoustique de la R. T. F.

Le grand studio fut le premier aménagé. Il était destiné à servir en même temps de studio pour les émissions de musique symphonique et de salle de concerts pour un public de 300 personnes environ. Il fallait donc trouver en même temps qu'une zone d'audition agréable à des niveaux assez constants d'une place à l'autre, une zone homogène sans défauts et assez vaste au-dessus de l'orchestre pour la prise de son.

Le studio comprend deux parties essentielles : la région de l'orchestre avec trois estrades, des murs et un plafond réfléchissant le son vers les micros et les auditeurs et la région du public avec des parois absorbant le son. Une étude d'acoustique géométrique faite sur la conque de l'orchestre a permis

de déterminer la forme des revêtements de telle sorte que l'énergie sonore soit renvoyée de façon assez forte mais suffisamment diffuse, sans concentration, sur les microphones et auditeurs.

Les parois de la conque entourent d'assez près l'orchestre, notamment le plafond, pour éviter tout décalage de temps trop grand entre les ondes directes et les ondes réfléchies par la conque. Ce décalage a été rendu inférieur à 40 millisecondes environ.

La forme du fond est rendue diffusante par des surfaces coniques, celle du plafond par des surfaces toriques.

La plupart des matériaux absorbants ont dû être placés sur le grand mur au-dessus des portes d'entrée pour éviter le retour du son sur l'orchestre et ainsi tout écho gênant, et sur le sol sous la forme de fauteuils rembourrés. Ceux-ci ont une forte absorption afin que le pouvoir absorbant du studio ne soit pas trop différent, salle vide et salle avec public. Le reste du traitement est constitué par un flochage de rayonne sur les murs et des panneaux bois en diaphragme.

Le temps de réverbération n'a pu être mesuré que salle vide. Il paraît assez élevé, mais il descend autour de 1.5 à 1.6 s., pour les fréquences médium dès que la salle est occupée par les musiciens et le public.

Le traitement des autres studios a été fait deux ans après. Pendant ce temps, nous avons pu mettre au point un nouveau matériau qui a été employé systématiquement dans le reste du centre. Il s'agit du Klegecell souple, utilisé sous deux formes : type A absorbant fréquences médium et aiguës et type B pour les basses.

Le matériau rappelle un tissu plastique tendu sur des cadres, perforé ou non à des distances variables du mur, avec voile de laine de verre dans l'intervalle. Les avantages de ce système sont les suivants :

1° L'absorption n'est point trop forte aux deux extrémités de la bande des fréquences audibles, permettant ainsi d'obtenir des courbes de temps de réverbération se relevant aux très basses fréquences et ne chutant pas aux extrêmes aiguës.

2° Le matériau présente aux vibrations un amortissement critique qui fait que, écarté de sa position d'équilibre il y revient lentement sans oscillations. On dit qu'il est « à mémoire lente ».

3° Il ne se détend pas et peut être nettoyé facilement au savon.

Le studio 2 a été conçu pour servir aux émissions de variétés et radiothéâtre. Il a deux alvéoles, l'une réverbérante de 90 m³ dont les parois sont recouvertes de calottes sphériques en staff, l'autre sourde de 50 m³ placée sous un escalier qui à l'intérieur du studio permet d'obtenir des effets divers.

Le temps de réverbération s'établit autour de 0.8 s avec une remontée aux fréquences basses et une légère aux aiguës. La courbe obtenue rappelle la forme des courbes d'égale sensibilité de l'oreille conseillée par certains acousticiens pour les temps

OSCILLOSCOPES CATHODIQUES



255 A

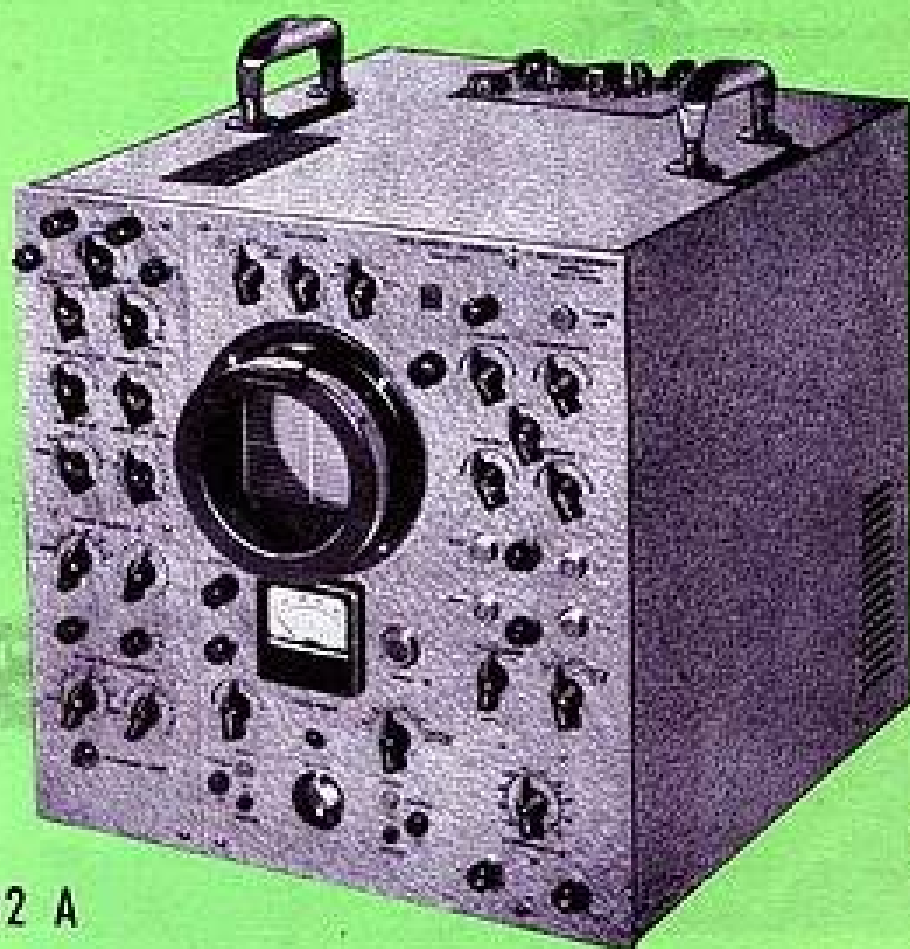
Gamme complète sans cesse tenue à jour. - Performances utiles constamment améliorées. - Universalité maximum de chaque modèle.

Modèles	Voies	Balayage	Ampli V		Temps réponse	Marqueur	Tube cathod. Ø	Emploi
			bande passante Hz - MHz	sensibilité mV/p à p/cm				
268 A	1	10 Hz - 30 KHz	10 - 1	45	—	—	70	Portatif Télé
267 B	1	1 μs/cm - 0,1 s/cm	0 - 1 10 - 0,8	250 8	—	—	90	Universel
266 A	2	1 μs/cm - 0,5 s/cm	0 - 0,6	14	—	—	90	T. B. F.
264 B	2	1 μs/cm - 0,05 s/cm	20 - 2	6	—	—	90	Laboratoire
262 B	1	0,25 μs/cm - 0,1 s/cm	10 - 10	15	0,05	1 - 1000 μs	110	Laboratoire Transitoires
255 A	1	0,3 μs/cm - 0,01 s/cm	0 - 4	150	0,12	0,4 μs - 4 ms	70	Chantiers Installations mobiles
252 A	1	0,1 μs/cm - 4 m s/cm	0 - 10 10 - 10	150 30	0,04	0,1 μs - 1000 μs	125	Laboratoire Transitoires complexes
203 B	2	0,03 μs/cm - 8 m s/cm	10 - 20	50	0,027	0,04 μs - 100 μs	125	Etudes spéciales
714 C	5	10 Hz - 200 KHz	0 - 0,5	3 volts	—	50 Hz	110	Contrôle industriel

Ribet Desjardins
RECHERCHE
DÉVELOPPEMENT
CONTRÔLE

CONCEPTION & FABRICATION FRANÇAISES

13, RUE PÉRIER - MONTROUGE (SEINE)
ALÉ + 24-40



252 A

ACTA

de réverbération des salles. Nous dirons plus tard ce qu'en pensent les exploitants pour formuler un avis sur les remontées des temps de réverbération aux fréquences extrêmes audibles.

Quant au temps de réverbération de l'alvéole réverbérante, il s'établit aux environs de 1.7 à 2.0 s. L'absorption dans la zone des basses est obtenue par le staff vibrant en diaphragme, avec laine de verre dans la cavité arrière.

Le traitement du studio 2 est composé pour sa plus grande partie de Klegecell types A et B. Ces deux éléments forment les carreaux d'un damier, l'élément B faisant saillie par rapport à l'autre élément, ce qui augmente le pouvoir diffractant de l'ensemble. Un mur latéral et le plafond ont un revêtement de plâtre en dent de scie pour éviter le parallélisme des murs, du plancher et du plafond. Sur une partie des redans du plafond ont été rapportées des dalles de plâtre perforées avec laine de verre derrière.

Le studio 3 est un petit studio classique pour la parole de 50 m², traité avec les mêmes matériaux.

Un soubassement sur trois faces est fait de contreplaqué en dents de scie.

Au rez-de-chaussée nous trouvons les studios 4 et 5 traités eux aussi pour la parole.

Le studio 4 a un temps de réverbération de 0.5 s qui va jusqu'à 0.7 s dans les basses. Le studio 5 a un temps légèrement inférieur de 0.45 s jusqu'à 0.6 s pour les fréquences basses.

Le traitement est fait suivant les mêmes bases que les précédents, Klegecell de deux types, dalles de plâtre perforées et contreplaqué en diaphragme.

Le studio de télévision de 300 m² a été rendu assez sourd avec un temps de réverbération de 0.5 s en plaçant beaucoup de laine de verre sur les murs derrière un métal déployé servant de protection. Des bandes verticales d'un tel matériau sont alternées avec des bandes de contreplaqué placées en diaphragme pour absorber les fréquences basses.

Chaque studio possède une cabine de prise de son dans laquelle se trouvent les techniciens et le matériel nécessaire aux émissions. Toutes ces cabines ont été traitées simplement avec un matériau dénommé « Softex », à base de fibres de bois agglomérées, rainuré dans le sens horizontal et vertical, de façon à augmenter son pouvoir absorbant. Quelques panneaux de contreplaqué en diaphragme font l'office d'absorbant pour les fréquences basses.

durée de balayage : 0,1 s/cm - 1 μ s/cm



amplification verticale : 0-2 MHz

PREMIÈRE RÉALISATION FRANÇAISE
*d' Oscilloscopes
à Blocs Fonctionnels Amovibles*
L'OSCILLOGRAPH

CRC

OC. 410

A AMPLIFICATEUR VERTICAL INTERCHANGEABLE

L'oscilloscope OC 410 offre la possibilité d'adapter les caractéristiques de l'amplificateur vertical au signal à examiner par la substitution ou le remplacement instantané d'un élément de faible prix. Il peut être utilisé avec 3 tiroirs fonctionnels distincts répondant à des domaines d'application différents.

TUBE de 130 mm. à post-accélération.

AMPLIFICATION VERTICALE : Caractéristiques limites - Sensibilité : 2 mV eff/cm - Bande passante : 0-2 MHz à 3 db - Tiroir spécial à commutateur électronique.

BASE DE TEMPS : relaxée ou déclenchée sans retour préalable avec allumage automatique du spot. Durée totale de 1 s à 10 μ s

AMPLIFICATION HORIZONTALE : 0-500 kHz - Sensibilité : 0,2 V/cm.

★ NOTICE TECHNIQUE SUR DEMANDE



AJAX 108

BUREAUX A PARIS : 36, RUE DE LABORDE - VIII^e - TÉLÉPHONE : LABorde 26-98

CONSTRUCTIONS

RADIOÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES DU CENTRE

19, RUE DAGUERRE, SAINT-ÉTIENNE (LOIRE)
TÉLÉPHONE : E 2 39-77 (3 lignes groupées)

VISUALISATION DES ONDES SONORES ET ULTRASONORES

PAR

F. CANAC

Directeur du Centre de Recherches S.I.M. de Marseille

La visualisation des ondes sonores et ultrasonores permet de concrétiser de façon indiscutable leur loi de propagation et tous les phénomènes qui en dépendent : interférence, réflexion, absorption, diffusion ; en particulier dans ce dernier cas où le calcul est inextricable, elle permet de voir immédiatement le rôle de certaines parois non planes utilisées en acoustique architecturale et de classer leur efficacité.

En envoyant d'autre part dans un milieu immobile un pinceau d'ultrasons de fréquence connue, la mise en évidence de leur longueur d'onde permet de connaître la vitesse de propagation, et si le milieu est en mouvement (écoulement) on peut déterminer la vitesse de ce dernier et sa température et cela en ne perturbant pas le milieu, ce que ferait l'introduction du plus petit appareil habituel (microphone, thermomètre, etc...)

Enfin, les équations de propagation des ondes électromagnétiques et des ondes acoustiques étant de même forme, on pourra retrouver dans certaines conditions expérimentales les propriétés des guides d'onde et des filtres et préciser visuellement leur comportement. Il y a donc là une technique extrêmement riche et qui ne prête à aucune confusion.

Nous nous proposons de montrer successivement ses principes et quelques applications.

1. — Principe de la méthode (1).

Elle est basée sur le fait que des ondes élastiques dans un milieu présentent des alternances de compressions et de dépressions et que l'indice d'un milieu comme l'air croît avec la pression. Par suite, un pinceau lumineux traversant le milieu subira des phénomènes de réfraction. Étant suivant le cas relevé ou abaissé, il pourra disparaître derrière un couteau

formant écran, de sorte qu'un observateur placé derrière verra en noir la région d'où il provient.

Une source lumineuse rectiligne est disposée près du centre optique d'un miroir concave à long foyer. Son image est un petit rectangle identique symétriquement placé par rapport au centre du miroir (fig. 1a). Aux différents points de l'image, convergent tous les rayons qui, émis par le rectangle objet, viennent frapper le miroir puis se réfléchissent après avoir traversé deux fois le fluide en avant du miroir.

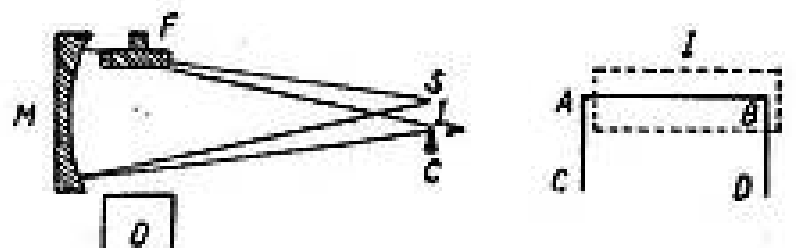


FIG. 1. — Schéma de montage.

FIG. 1, a. — Schéma du montage de strioscopie.

S, Source. M, Miroir concave. I, Image. C, Couteau. D, Emetteur d'ultrasons, E, Plan réfléchissant.

FIG. 1, b. — Obstruction de l'image I par le couteau ABCD.

La méthode d'observation consiste à intercepter presque totalement l'image I au moyen d'un couteau opaque ABCD (fig. 1b). Dans ces conditions, seuls les rayons émergeant de la petite bande supérieure sont reçus par l'œil placé derrière le couteau. Comme ils proviennent de tous les points du miroir, celui-ci est vu entièrement éclairé et le réglage consiste à faire juste apparaître la totalité du miroir par un léger déplacement du couteau.

Si maintenant, par suite d'un phénomène local de réfraction, les rayons traversant un certain domaine sont déviés par exemple vers le bas, l'œil ne les

recevra plus et ce domaine se détachera en noir sur le fond éclairé du miroir. Si au contraire, ces rayons sont déviés vers le haut, l'œil en recevra un plus grand nombre et la région intéressée correspondante apparaîtra plus brillante.

D'autre part, en vertu du principe de Fermat et du fait que l'indice d'un milieu comme l'air croît avec la pression, une bande fluide comprise entre deux plans parallèles PP' , où la pression va par

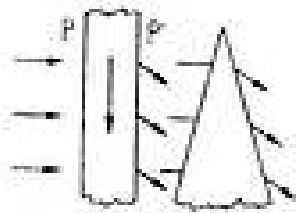


FIG. 2. — Bande fluide à gradient de pression assimilable à un prisme

exemple en croissant vers le bas, est assimilable à un prisme dont la grande base est en bas (fig. 2). Un faisceau lumineux normal à la bande sera dans ces conditions dévié vers le bas.

VISUALISATION DES ONDES.

Celles-ci sont produites en avant du miroir et leur faisceau peut être éclairé de deux façons, soit de façon continue, soit par stroboscopie par exemple au moyen d'une lampe au néon reliée à un microphone placé près de la source.

ONDES PROGRESSIVES.

Supposons, pour fixer les idées, que le faisceau précédent soit dirigé de bas en haut et que nous l'éclairions une fois par période au moyen d'une fente horizontale, le bord du couteau étant également horizontal. Par suite de la répartition sinusoidale des pressions, à un instant donné (fig. 3), c'est

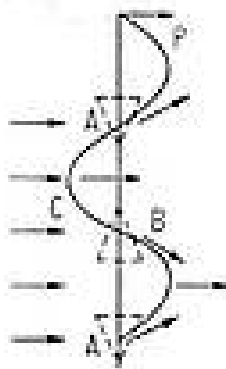


FIG. 3. — Schéma de la répartition des gradients de pression dans une onde progressive.

aux points où la pression est nulle que son gradient est le plus grand. Donc dans les régions C les rayons ne seront pas déviés. En A , ils seront relevés. En B , ils seront abaissés. Ces derniers points donneront donc naissance à des bandes noires distantes entre elles d'une longueur d'onde (fig. 4). Mais la position de ces points dans l'espace dépendra de l'instant où le train d'onde sera « surpris » par l'éclairage stroboscopique.

Si nous éclairons de façon continue, la vitesse de déplacement du réseau précédent est telle que l'on ne discernera rien sauf une traînée lumineuse due aux franges blanches.

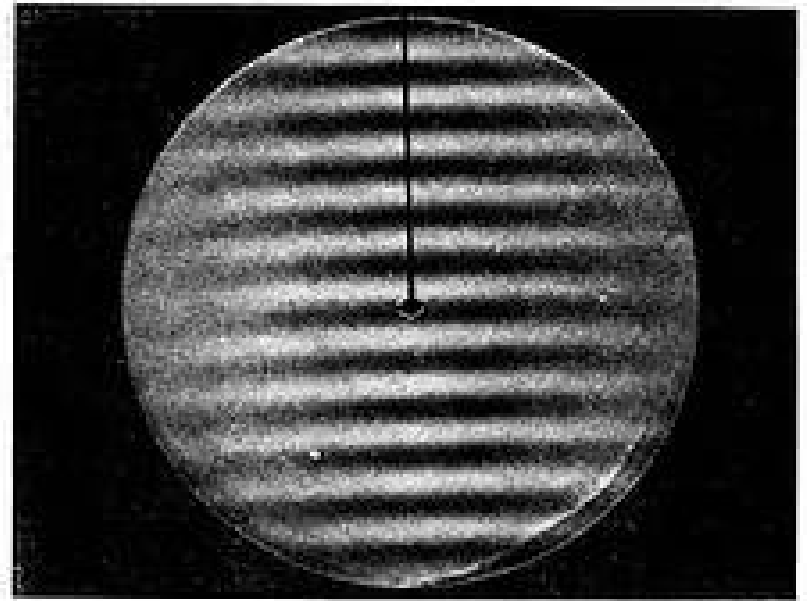


FIG. 4. — Ondes progressives vues par stroboscopie.

ONDES STATIONNAIRES.

Considérons d'abord le cas simple d'un faisceau incident perpendiculaire à un miroir plan. Les ondes stationnaires sont parallèles au miroir et distantes entre elles d'une demi-longueur d'onde.

Éclairons-les par stroboscopie toutes les périodes. Si l'instant de l'éclairage correspond au moment où les compressions et les dépressions sont au maximum et où par suite aux nœuds de pression, le gradient de pression est maximum, en ces nœuds, suivant le sens de ce gradient les rayons lumineux seront relevés ou abaissés. Comme précédemment, nous observerons des raies alternativement noires et brillantes, distantes d'une longueur d'onde (fig. 5).

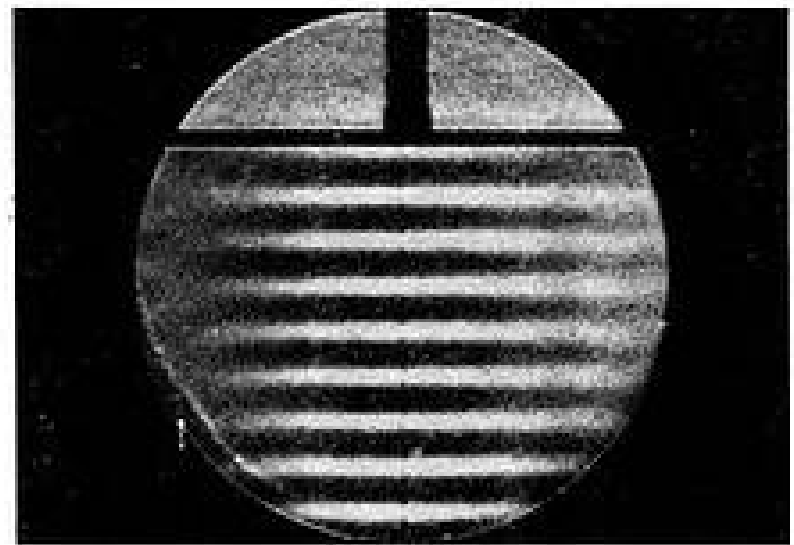


FIG. 5. — Ondes stationnaires vues par stroboscopie.

Soulignons que si l'instant de l'éclairage est mal choisi, par exemple s'il a lieu quand la pression est nulle, tout le long du rayon sonore, aucun phénomène ne se produira. S'il a lieu une fraction de période ($\approx T/4$) avant ou après, les stries seront pratiquement invisibles.

Éclairons les ondes de façon continue. Deux nœuds consécutifs de pression feront apparaître et disparaître alternativement de la lumière, toutes les

demi-périodes. Mais il n'y a pas symétrie entre les deux phénomènes par suite de la position du bord du couteau très près du bord supérieur de l'image. Nous verrons alors des raies blanches distantes entre elles d'une demi-longueur d'onde (fig. 6).

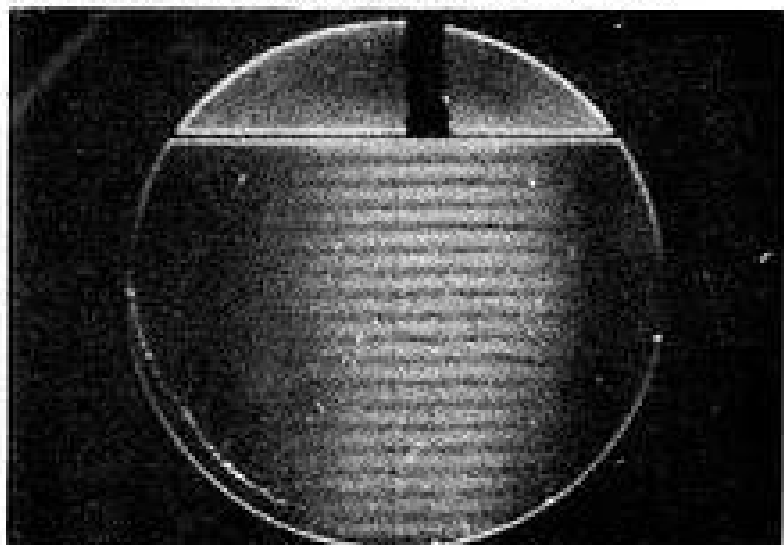


FIG. 6. — Ondes stationnaires vues en lumière continue (raies deux fois plus serrées que précédemment).

Considérons maintenant le cas où les ondes incidentes font un angle α avec le miroir. Les deux faisceaux incidents et réfléchis observés convenablement en stroboscopie vont donner chacun des traits distants entre eux d'une longueur d'onde (fig. 7) et

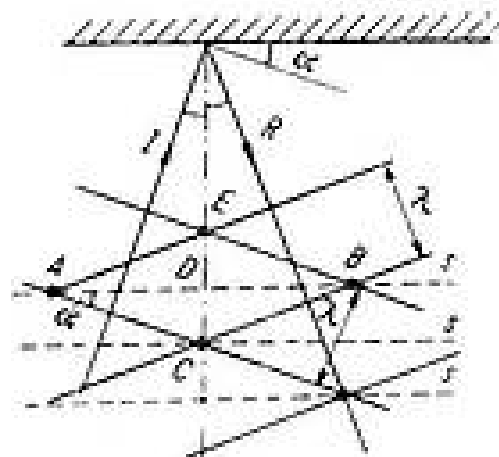


FIG. 7. — Miroir incliné. Région commune aux ondes incidentes et aux ondes réfléchies.

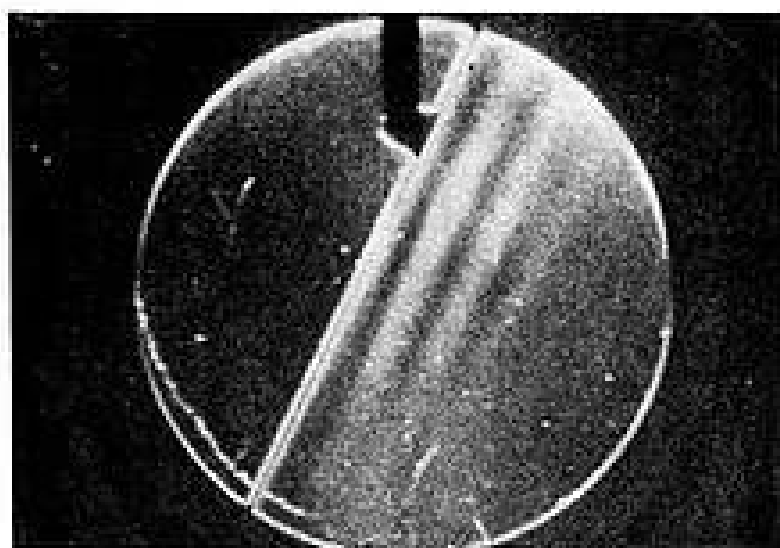
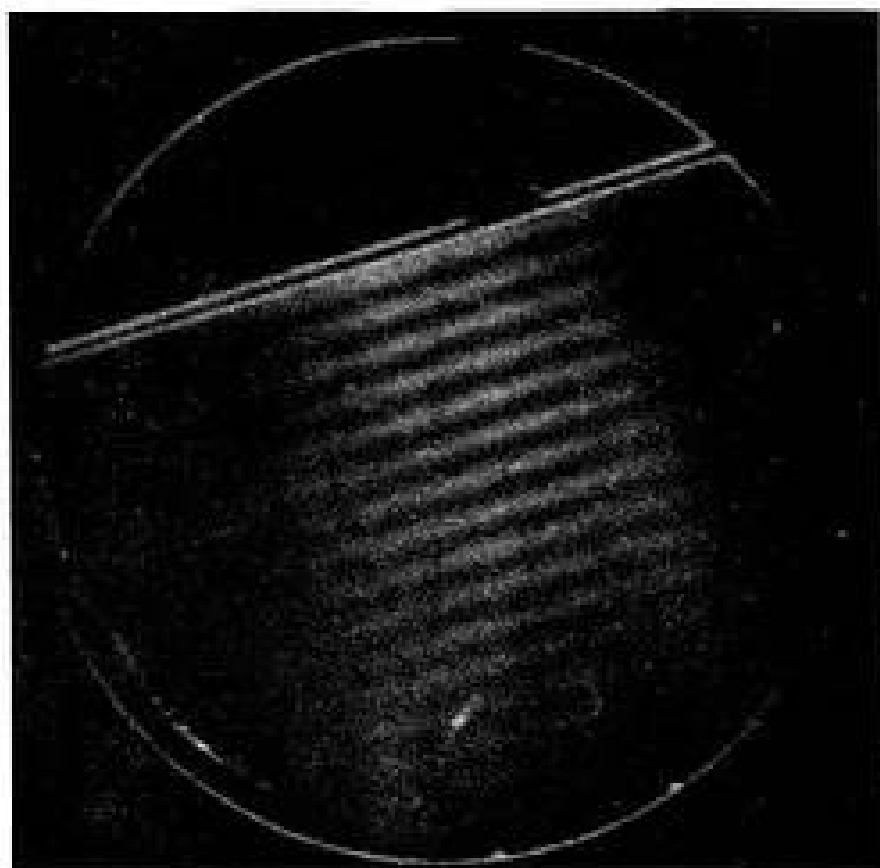
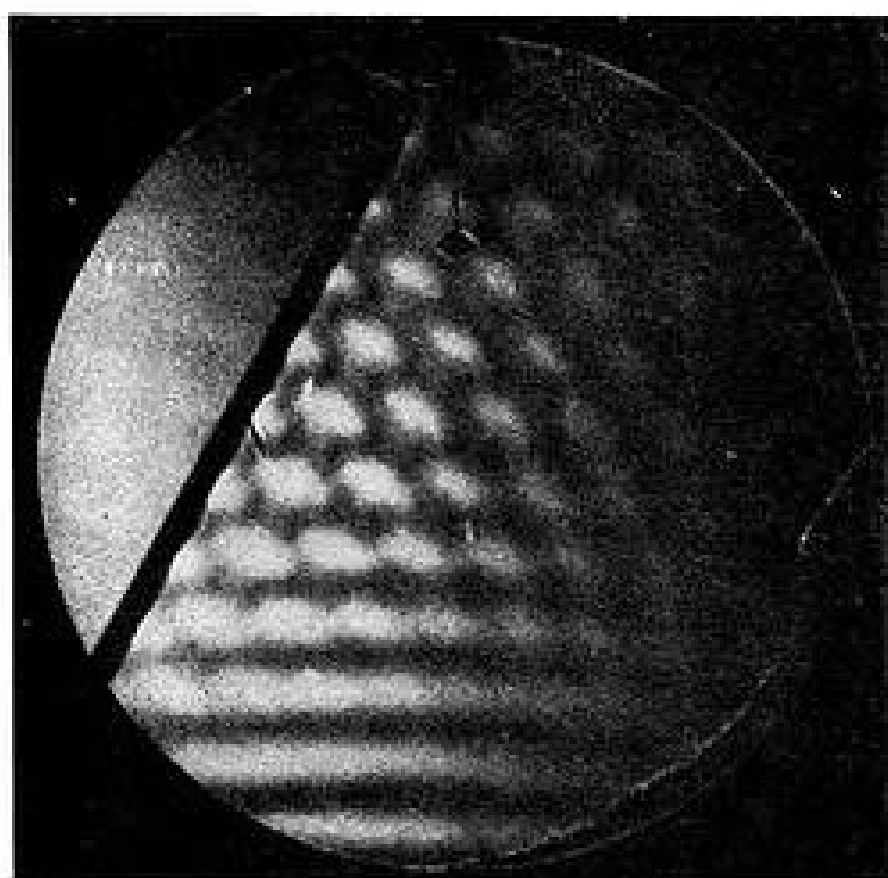
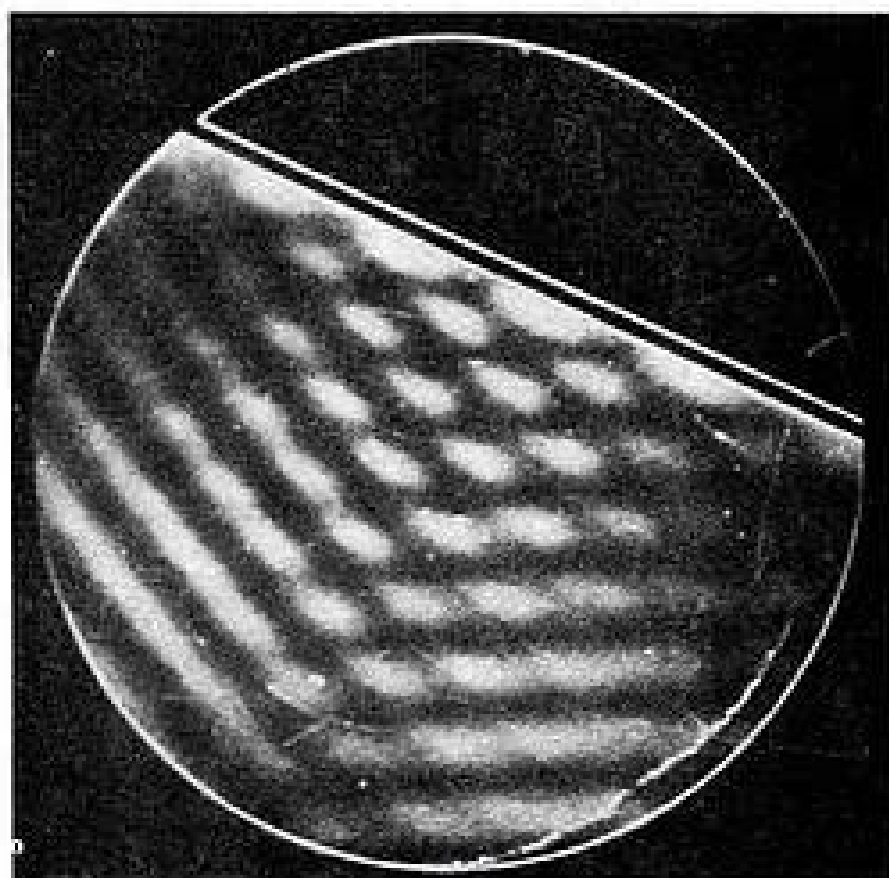


FIG. 7 bis. — En haut : Stroboscopie. Losange d'interférence pour les incidences de 30° et 60° . En bas : lumière continue. Raies parallèles pour les incidences de 30° et 60° .

qui, en se superposant, forment des losanges dont le grand axe $AB = \lambda/\sin\alpha$ et le petit axe $CE = \lambda \cos \alpha$.

Les quatre sommets correspondant à la superposition des deux réseaux sont particulièrement nets. La fig. 7 bis donne l'aspect des losanges pour $\alpha = 30^\circ$ et $\alpha = 60^\circ$.

Si au lieu de regarder ce qui se passe à des instants séparés par une période, nous regardons ce qui se passe durant une période où par exemple l'onde AC vient en EB , tandis que AE vient en CB , nous voyons qu'un sommet tel que A vient en B . Tout se passe comme si le losange se déplaçait d'un mouvement uniforme de la gauche vers la droite parallèlement au miroir. La vitesse de translation étant $AB/T = \lambda/T \sin \alpha = c/\sin\alpha$. Elle est supérieure à la vitesse du son c .

Si nous éclairons donc en lumière continue, nous verrons des raies parallèles au miroir et dont l'équidistance est égale à $CD = \lambda/2 \cos \alpha$.

Les raies sont d'autant plus espacées que le miroir est plus incliné (fig. 7 bis, $\alpha = 18^\circ$ et $\alpha = 62^\circ$).

II. — Exemples d'applications de la méthode (2).

POUVOIR RÉFLÉCHISSANT DE MATÉRIAUX.

Dans le dispositif de la figure 8, le miroir réfléchissant à 45° est formé de deux parties : la moitié

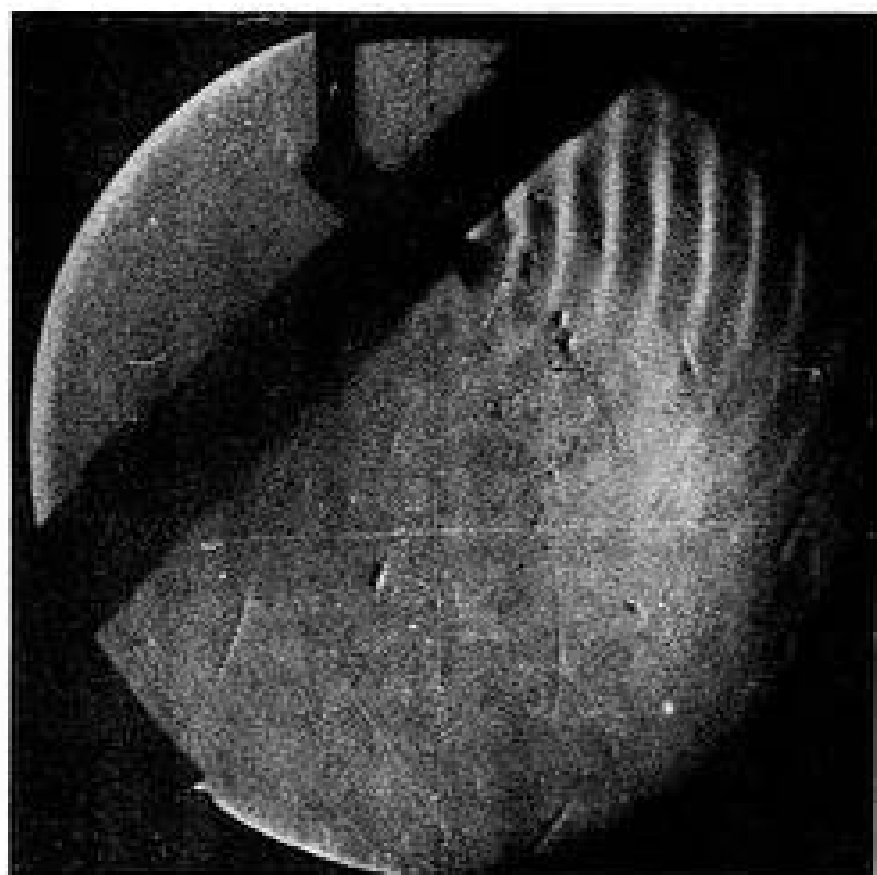


FIG. 8. — Comparaison du pouvoir réfléchissant de la laine de verre agglomérée (en bas) et d'une plaque métallique (en haut).

inférieure est recouverte de laine de verre, la moitié supérieure est en acier. Un faisceau d'ultrasons (fréquence 23 000) est envoyé verticalement et le couteau est disposé verticalement pour mettre en évidence le faisceau réfléchi horizontalement. On voit immédiatement sur la figure l'action du produit absorbant.

TRANSPARENCE D'UN MATÉRIAU.

La fig. 9 montre l'effet d'une couverture de laine (fréquence 23 000).

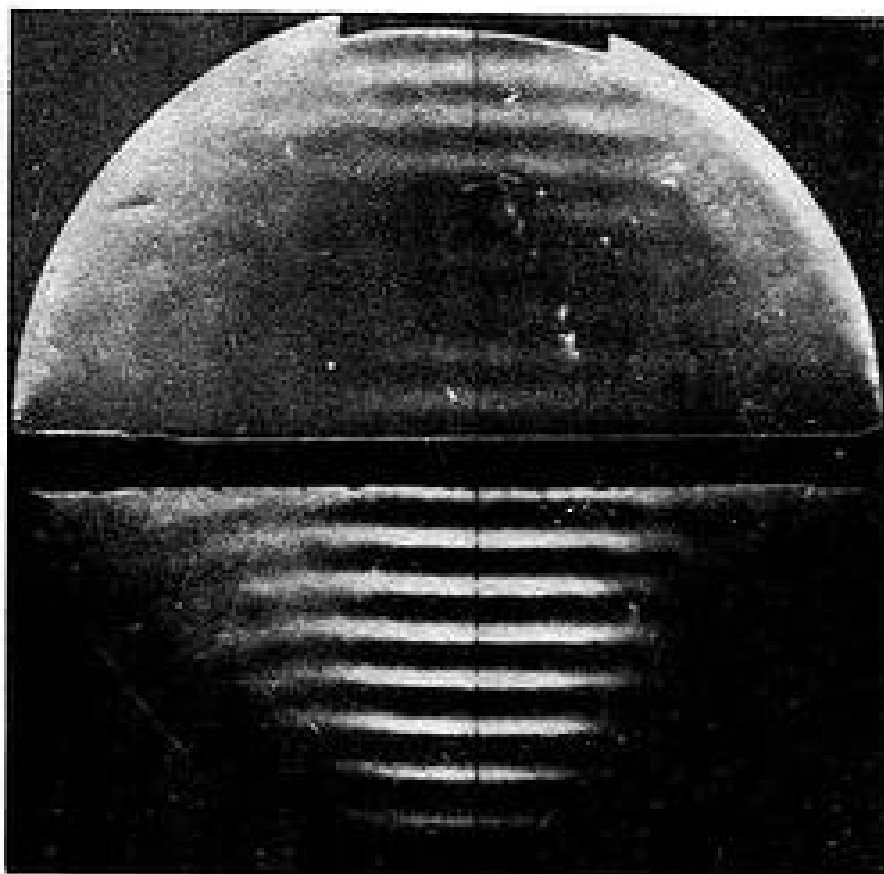


FIG. 9. — Absorption d'une couverture de laine pour les fréquences de 23 000 Hz.

POUVOIR DIFFUSANT D'UN PLAFOND A RELIEF.

La fig. 10 où le bas comprend un assemblage de caissons du type indiqué à droite et où le haut est une plaque d'acier parfaitement réfléchissante, montre le rôle diffusant de l'ensemble en relief.

ACOUSTIQUE ARCHITECTURALE.

Conduite du son par une galerie cylindrique. La fig. 11 représente à l'échelle voulue le profil de la galerie des murmures à la Cathédrale St-Paul à Londres, étudiée spécialement par Lord Rayleigh : la voix partant tangentielle à la paroi, suit celle-ci.

GUIDES D'ONDE.

Deux plans parallèles forment un guide d'ondes comme ceux considérés par M. Léon Brillouin lors de la propagation des ondes électromagnétiques. (3). On retrouve les figures prévues (fig. 12). Parallèlement au miroir se propagent des ondes de longueur $\lambda/\sin\alpha$ ($\alpha =$ angle d'incidence du faisceau) avec une vitesse $c/\sin\alpha$ supérieure à la vitesse du son. On retrouve à la sortie l'émission de 2 faisceaux, et aussi la coupure quand la distance entre les 2 miroirs est plus petite que $\lambda/2 \cos\alpha$. Le guide se comporte alors comme un tuyau ou passe simplement une dérivation du son incident.

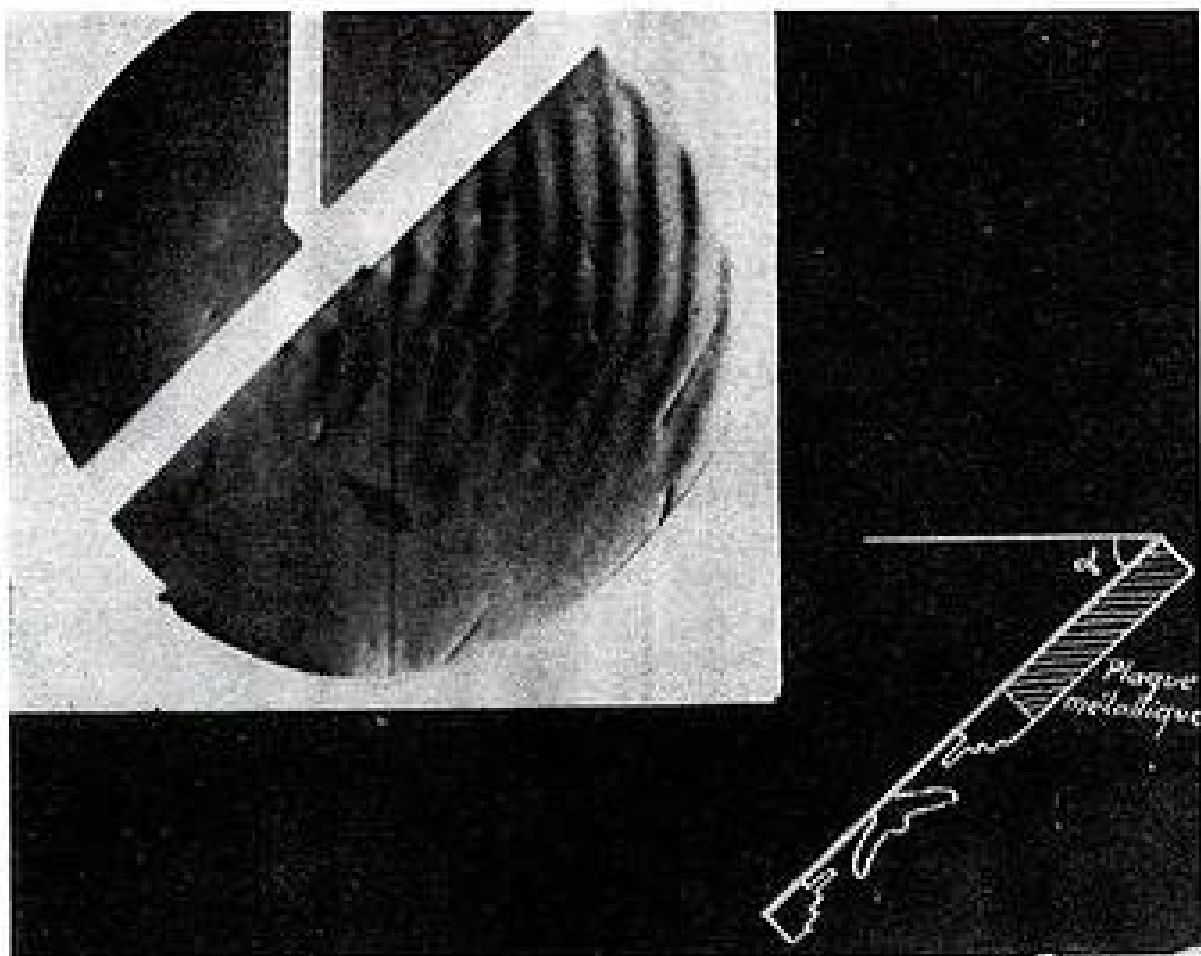


FIG. 10. — Action diffusante d'un type de plafond à caissons.

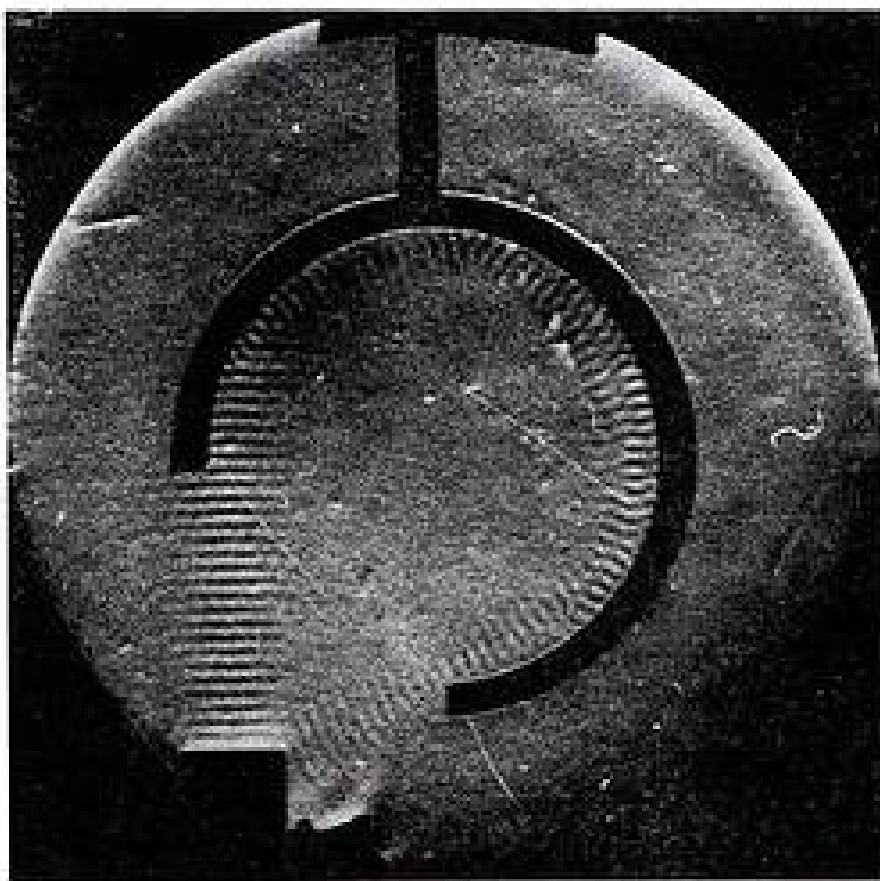


FIG. 11. — Faisceau sonore tangentiel longeant un mur circulaire (maquette de la galerie des marbres à la Cathédrale Saint-Paul à Londres).

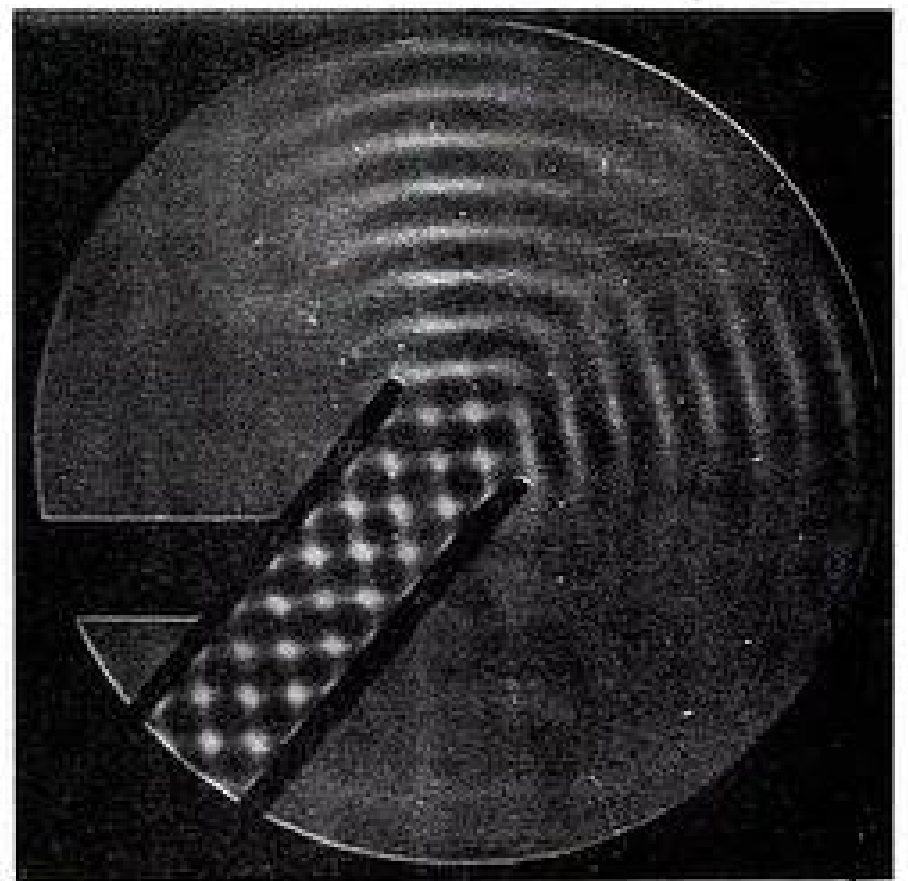


FIG. 12. — Guide d'onde. Stroboscopie de la propagation entre deux plans parallèles et du double faisceau à la sortie.

MESURE DE LA VITESSE ET DE LA TEMPÉRATURE D'UN FLUIDE EN MOUVEMENT.

Il suffit de lui superposer un faisceau d'ultrasons perpendiculaire à la direction de l'écoulement (1). La déviation du faisceau observé en éclairant par une étincelle donne une mesure de la vitesse du fluide et l'écartement des raies est fonction de la température (fig. 13).

MISE EN ÉVIDENCE D'ÉMISSION ULTRASONORE DANS UN JET D'AIR.

La fig. 14 montre l'existence d'ondes ultrasonores



FIG. 13. — Déviation des faisceaux ultrasonores par un écoulement gazeux se propageant de droite à gauche.

(fréquence 22 000) centrées les unes à la sortie de la tuyère et se propageant vers l'aval et les autres au point où la turbulence commence (1^e chafnon) et se propageant vers l'amont.

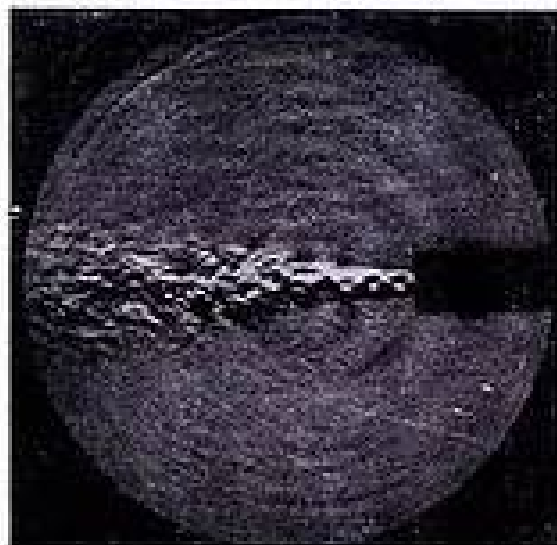


FIG. 14. — Mise en évidence d'émissions ultrasonores par un jet d'air.

* *

Les résultats précédents donnés à titre d'exemple ont été obtenus avec des fréquences de 23 000 et

de 69 000 Hz. Mais on peut descendre beaucoup plus bas et nous avons pu photographier facilement des ondes de fréquence 4 000 obtenues par un haut parleur.

Dans tous les cas on utilise comme nous l'avons vu, trois types de lumière : instantanée, continue, modulée. La possibilité d'utiliser un couteau sous diverses orientations permet une prospection particulièrement fine des phénomènes.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] SCHARBIN H. La méthode des stries de Toeplitz. *Forschungsheft*, n° 364 et n° 367, 1954.
TAYLOR E. J. CR. Acad. Sc. 1930 T. 191 p. 92 à 98.
CR. Acad. Sc. 1930 T. 191 p. 92.
BERGMANN L. Der Ultraschall und seine Anwendungen Wissenschaft und Technik, S. Hirzel Verlag Zurich 1949.
- [2] CANAC F. Propagation, Interférence, Absorption, Diffusion des ondes ultrasonores et sonores visualisées par la méthode des stries. *Acoustica*, vol. 4, 1954, p. 320.
- [3] BRILLIOUTIS L. *Rev. Gén. Élect.*, tome XI, 23-8-36.
- [4] MERLE Mlle M. Emploi des ondes ultrasonores pour l'étude d'un champ aérodynamique. *Acoustica* 1 (1951), p. 100-108.

SUR LES PROPRIÉTÉS ACOUSTIQUES DES MATÉRIAUX

PAR

Théodore VOGEL

*Centre National de la Recherche Scientifique,
C.R.S.I.M., Marseille*

Introduction.

L'acoustique est une des disciplines scientifiques les plus anciennes, et son application à l'architecture elle-même fut dans l'antiquité l'objet d'observations perspicaces, dont témoigne le *Traité de Vitruve*. Il semble donc paradoxal que les propriétés acoustiques des matériaux utilisés en architecture soient encore si mal connues que les définitions même des grandeurs pouvant les caractériser puissent faire l'objet de discussions.

Sans doute peut-on voir une des raisons de cet état de choses dans l'attention presque exclusive que les théoriciens prêtèrent longtemps aux instruments de musique et à ce qui les concernait : cordes, tuyaux, etc. ; cependant que la pratique de l'acoustique architecturale se développait indépendamment de façon quasi empirique : si les techniciens de l'électricité, par exemple, ont eu dès le début à leur disposition la notion claire de résistance spécifique, c'est grâce aux admirables travaux des Cavendish, des Ohm et des Kirchhoff, poursuivis dans la calme des laboratoires bien avant que l'électricité ne servît à quoi que ce soit. Il est vrai que c'est aussi parce que l'étude de l'électricité aussi bien que ses applications ont commencé par la considération de circuits filiformes, alors que l'acoustique architecturale nous plonge de prime abord dans un espace à trois dimensions avec toutes ses difficultés.

La nature même du problème n'est, faut-il le dire ? nullement ambiguë : si l'on fait abstraction des problèmes exceptionnels où interviennent des explosions ou des tourbillons acoustiques, et de ceux où commence à se manifester sensiblement la non-linéarité due aux grandes amplitudes de vibration, il s'agit d'une propagation d'ondes irrotationnelles au sein d'un fluide compressible non visqueux,

borné par des frontières ou des obstacles matériels plus ou moins rigides ou élastiques. Ce phénomène est régi par une équation aux dérivées partielles bien connue sous le nom d'équation du son ou de d'Alembert ; mais, comme c'est presque toujours le cas en physique, il ne s'agit pas d'en trouver la solution générale, mais bien une solution particulière, qui satisfasse à certaines conditions sur la frontière. C'est ce qu'on appelle un « problème aux limites », et la forme de sa solution dépend de la condition aux limites, laquelle exprime une propriété intrinsèque de la frontière, non moins que de l'équation différentielle qui exprime les propriétés du milieu où se fait la propagation.

Quelle est la forme que l'on peut adopter raisonnablement pour la condition aux limites, qui exprimera précisément le comportement des matériaux utilisés comme parois ou obstacles ? Ayant adopté une approximation linéaire pour étudier la propagation du son, nous en perdrons tout le bénéfice si la condition aux limites n'avait pas le même caractère : il devra donc s'agir essentiellement d'une combinaison linéaire du potentiel des vitesses et de ses différentes dérivées ; d'ailleurs, il serait peu satisfaisant pour l'esprit que les dérivations ne fissent pas intervenir l'orientation géométrique des parois, de sorte qu'il s'agira de dérivées normales et tangentielles ; enfin, il faut que la formulation mathématique adoptée soit telle que l'on puisse démontrer l'existence et l'unicité d'une solution, notre expérience ne permettant pas de douter de la possibilité d'établir, dans des conditions bien déterminées, un régime sonore et un seul dans une enceinte donnée. Cette dernière condition suggère une forme simple possible de la condition aux limites (mais il pourrait, naturellement, y en avoir de plus compliquées, et en particulier d'ordres plus élevés) : c'est celle connue en physique mathématique sous

le nom de « condition mixte », généralisation des conditions de Dirichlet et de Neumann,

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} + \alpha \varphi = 0. \quad (1)$$

Elle signifie qu'en chaque point la composante normale à la paroi de la vitesse des particules d'air est au potentiel (done, dans le cas d'ondes à pulsation déterminée, à la dérivée temporelle du potentiel, ou à la pression) dans un rapport qui caractérise le point considéré de la paroi, et qui reste le même lorsque le régime change, la pulsation restant constante. Si l'on se rappelle que la pression dans un fluide n'est autre chose que le tenseur (isotrope) des contraintes s'exerçant sur un obstacle, on voit que la condition envisagée signifie, en somme, que la paroi oppose au son une résistance proportionnelle à la vitesse des particules qui la frappent ; le coefficient de proportionnalité, caractéristique du point considéré de la paroi, est l'« impédance spécifique » en ce point, pour parler comme les électriciens.

L'adoption d'une condition aux limites de la forme (1) donnerait donc à l'acoustique des espaces clos un aspect analogue à celui qui nous est familier en électricité, ou encore en thermocinétique (où l'on rencontre un « coefficient de passage de la chaleur » qui joue le même rôle que α). De plus, la condition prend des formes très acceptables dans les deux cas limites de l'impédance nulle ($\alpha = \infty$, $\varphi = 0$: c'est la condition classique pour une surface fluide libre, en hydrodynamique) et de l'impédance infinie ($\alpha = 0$, $\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$: c'est la condition classique pour une paroi parfaitement rigide et réfléchissante, en hydrodynamique).

Toutes ces considérations ne rendraient pas la condition (1) valable si elle ne l'était pas ; mais elles lui donnent un caractère de vraisemblance qui encourage l'acousticien à examiner les possibilités, ou le domaine, de sa validité. Une discussion plus étendue sortirait du cadre de cet article ; nous nous contenterons de dire ici qu'une très grande partie des problèmes de propagation du son dans les espaces clos semble s'accommoder de façon très satisfaisante de l'hypothèse (1).

L'acoustique géométrique.

Il paraîtrait donc qu'on puisse caractériser valablement les matériaux constituant parois et obstacles par leur impédance acoustique spécifique (ou par leur admittance, ce qui revient au même). Si l'on écrit la condition (1) en termes d'observables, vitesse normale et pression, on voit que l'impédance sera en général un nombre complexe (elle serait un

vecteur complexe si l'on faisait intervenir le vecteur vitesse, au lieu de son produit scalaire par le vecteur unitaire porté par la normale à la paroi). Il sera commode d'écrire, Z et γ étant des nombres réels,

$$z = \rho c Z e^{i\gamma}$$

en mettant en évidence ρc , résistance acoustique spécifique du fluide, qui prend la place de z lorsque la paroi s'évanouit, et devient une surface fictive tracée au sein du fluide.

L'introduction de la notion d'impédance acoustique spécifique porte tout naturellement à étendre aux problèmes d'acoustique les procédés usuels des électriciens pour calculer les impédances de couplages série, dérivation, etc... : on ne s'en est pas fait faute.

Cette extension peut rendre de grands services, mais présente aussi des dangers certains, car sa légitimité, s'agissant de problèmes à trois dimensions, est un cas d'espèce. Nous ne pouvons insister ici sur cette question, qu'il fallait cependant signaler. Mais admettons que l'on n'utilise z qu'à bon escient, c'est-à-dire pour poser complètement le problème aux limites dont il a été question plus haut : une difficulté pratique très grave se présente alors, c'est que la résolution effective des problèmes aux limites pour des salles réelles, avec leurs obstacles compliqués, balcons, colonnes..., est absolument inextricable. On se trouve devant des difficultés du même ordre que celles de l'optique ondulatoire, et il est bien naturel de chercher à les pallier par une approximation analogue à celle de l'optique géométrique. Malheureusement, le rapport des longueurs d'onde aux dimensions géométriques des domaines n'est pas le même en acoustique et en optique, et ce qui était une approximation légitime devient une hypothèse monstrueuse lorsque la longueur d'onde est de l'ordre de 1 à plusieurs mètres, et l'enceinte guère plus grande : que l'« acoustique géométrique » conduise à des résultats parfois valables apparaît comme une heureuse complaisance des phénomènes, sur quoi on n'avait pas le droit de tabler.

Toutefois, cette complaisance est un fait reconnu ; et il est si commode de raisonner sur des rayons sonores, sur leurs réflexions successives, etc..., que le théoricien d'abord choqué doit en prendre son parti : sans abdiquer le droit de contrôle a priori, qui lui fera connaître les points sur lesquels le raisonnement géométrique sera nécessairement en défaut.

Dans l'acoustique géométrique, le phénomène principal est la réflexion ; celle-ci s'accompagne d'une certaine absorption d'énergie, de sorte que le comportement de l'obstacle sera caractérisé par un coefficient de réflexion, ou par un coefficient d'absorption qui sera le complément à 1 du précédent.

Considérons le cas le plus simple, celui d'une onde plane tombant sur un obstacle plan indéfini

$x = 0$ sous une incidence θ : les solutions planes de l'équation du son

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + k^2 \varphi = 0$$

(qu'on pourra supposer indépendantes de z , moyennant un choix convenable du trièdre de référence) seront des combinaisons linéaires des deux solutions fondamentales

$$e^{ik(y \sin \theta \pm x \cos \theta)}$$

de sorte que la condition aux limites (1) pourra s'écrire :

$$\left\{ \left(\frac{\partial}{\partial x} + \alpha \right) e^{iky \sin \theta} (e^{ikx \cos \theta} + r e^{-ikx \cos \theta}) \right\}_{x=0} = 0$$

soit encore :

$$(1 - r) \cos \theta + (1 + r) \alpha = 0,$$

d'où le coefficient d'absorption (en termes d'énergie)

$$\mathcal{A} = 1 - rr^* = - \frac{2(\alpha + \alpha^*) \cos \theta}{\alpha \alpha^* - (\alpha + \alpha^*) \cos \theta + \cos^2 \theta}$$

ou encore, en termes de Z et γ ,

$$\mathcal{A} = \frac{4 Z \cos \gamma \cos \theta}{1 + 2 Z \cos \gamma \cos \theta + Z^2 \cos^2 \theta} \quad (2)$$

On voit que ce coefficient est étroitement lié à l'impédance acoustique spécifique, et en particulier que deux déterminations expérimentales de \mathcal{A} sous deux incidences distinctes permettent de déduire Z et $\cos \gamma$: si l'on pose, pour simplifier l'écriture

$$\mathcal{B} = \frac{2 - \mathcal{A}}{\mathcal{A}} \cos \theta,$$

et que l'on fasse deux mesures aux incidences θ, θ' , il vient :

$$\left\{ \begin{aligned} Z^2 &= \frac{\mathcal{B} - \mathcal{B}'}{\mathcal{B}' \cos^2 \theta - \mathcal{B} \cos^2 \theta'} \\ \cos^2 \gamma &= \frac{1}{4} \frac{(\cos^2 \theta - \cos^2 \theta')^2}{(\mathcal{B} - \mathcal{B}') (\mathcal{B}' \cos^2 \theta - \mathcal{B} \cos^2 \theta')} \end{aligned} \right.$$

La formule (2), ou plus exactement une formule analogue donnée par Lord Rayleigh pour le cas

$\gamma = \frac{\pi}{4}$, a été critiquée comme donnant une absorption nulle sous incidence rasante ($\theta = \frac{\pi}{2}$), ce qui serait contraire à l'expérience. Cette critique tombe à faux : si l'on constate effectivement une absorption des ondes rasantes, c'est que celles-ci ne sont pas planes, et elles ne sauraient l'être. Il suffit de se reporter à l'équation du son et à la condition aux limites que l'on vient d'écrire, pour voir que sous $\theta = \pi/2$ une onde plane n'est possible que si

$$(1 + r) \alpha = 0 :$$

le premier facteur ne peut être nul sans faire évanouir identiquement l'onde $(1 + r) e^{iky}$, il faut donc que $\alpha = 0$; seule une paroi non absorbante peut être léchée par des ondes planes, dès qu'il y a absorption la forme de l'onde rasante change.

Une autre remarque coupera court à certains malentendus : il s'agit, dans le problème aux limites posé, exclusivement d'ondes monochromatiques, donc de pulsation donnée. Toutes les « constantes », et en particulier Z et γ , sont relatives à cette pulsation, et peuvent varier suivant une loi absolument quelconque en fonction de la pulsation considérée comme paramètre. La forme des courbes donnant l'absorption, ou sa valeur moyenne (cf. infra) en fonction de Z , par exemple, n'a donc rien de commun avec les courbes $\mathcal{A}(\omega)$ relevées dans la pratique, à pulsation variable, avec un matériau donné, c'est-à-dire des lois $z(\omega)$ et $\gamma(\omega)$ données.

Mesures de \mathcal{A} , Z , γ par la méthode de l'incidence.

Ce qui précède fournirait directement une méthode pour mesurer le coefficient d'absorption d'un matériau disposé suivant un plan indéfini, lorsqu'il serait irradié par des ondes sonores planes, de pulsation et d'incidence données. De deux mesures faites sous deux incidences différentes, on tirerait le module et l'argument de l'impédance spécifique.

En fait, on entrevoit tout de suite quelques difficultés à surmonter :

1° Il est difficile de mesurer, sans les troubler et sans être gêné par leurs interférences, les champs incident et réfléchi au voisinage de l'échantillon.

2° La théorie a été faite pour des conditions qu'il est impossible de réaliser rigoureusement ; comment réduire au minimum les effets perturbateurs de la dimension finie de l'échantillon, et ceux de la non-planéité inévitable du champ ?

La première difficulté peut être levée en comparant l'intensité (à distance) du faisceau sonore réfléchi par l'échantillon à celle du faisceau réfléchi, toutes choses égales d'ailleurs, par un plan d'absorption négligeable.

Pour réaliser ce dernier, mesurons l'intensité d'un champ d'ondes planes, à distance suffisamment grande de la source; interposons non loin de la source un plan réflecteur et recommençons la mesure à la même distance dans le faisceau brisé: le plan sera tenu pour parfaitement réflecteur, à la précision des mesures faites, si la différence entre les deux résultats n'est pas significative. L'expérience montre qu'il en est ainsi d'une dalle de ciment bien poli, pesant 100 kg au m².

Quant aux difficultés du second point (qu'il faut d'ailleurs avoir résolu pour faire l'expérience que l'on vient de décrire sur le miroir parfait), l'effet de bord peut être apprécié en comparant les résultats de mesures faites sur des échantillons de même nature mais de dimensions différentes. Pour une incidence de l'ordre de 50°, nous avons constaté qu'entre 200 et 500 Hz l'effet était très sensible tant que le côté de l'échantillon ne dépassait pas quelques 80 cm, mais qu'au delà l'augmentation des dimensions du panneau n'affectait plus les résultats que de variations inférieures à l'erreur inhérente aux mesures. Nous nous sommes donc arrêtés, au laboratoire du C. R. S. I. M., aux dimensions de 100 × 100 cm²; peut-être pourrait-on, pour plus de sécurité, choisir des panneaux un peu plus grands encore, par exemple de 150 × 150 cm².

La question est beaucoup plus délicate en ce qui concerne la nature du champ acoustique dans la salle de mesure. Il est bien difficile d'éliminer complètement les ondes réfléchies ou diffractées par les parois de la salle, ainsi que le son provenant directement de la source au microphone récepteur. Après de longs tâtonnements, nous nous sommes estimés satisfaits par la disposition suivante pour la salle de mesures (figure 1):

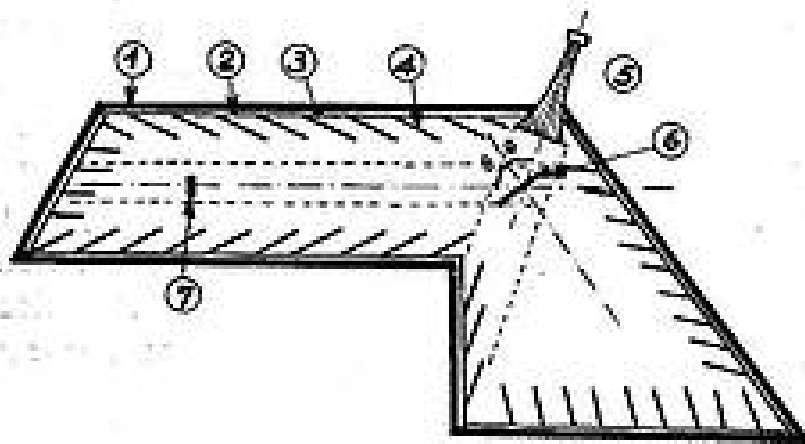


FIG. 1. — Installation pour la mesure des coefficients d'absorption des matériaux, sous l'incidence de 55°.

- | | |
|---------------------|-----------------------------|
| 1 — Bâti-vite. | 5 — Chambre de compression. |
| 2 — Isorel perforé. | 6 — Panneau à essayer. |
| 3 — Air 10 cm. | 7 — Micro de mesure. |
| 4 — Trepal 3 cm. | |

Si l'on compare les amplitudes des vibrations sonores perçues par le microphone en l'absence du panneau étudié (et qui sont dues à ces réflexions et diffractations parasites) à celles perçues lorsque le panneau est en place, et dont on tient compte pour la mesure de \bar{C} , on trouve un rapport inférieur

à 1/10 pour les fréquences supérieures à 500 Hz, et à 3/10 entre 150 et 500 Hz: de sorte que les « parasites », pratiquement négligeables aux moyennes et aux aiguës, n'entraînent sur \bar{C} , aux graves, qu'une erreur de 11 % au plus.

Il faut veiller, d'autre part, à la planéité du champ, pour que les mesures conservent la signification qu'on leur attribue. Nous avons mesuré le niveau sonore à 1 cm en avant du panneau (centré sur l'axe de la source, munie d'un pavillon exponentiel du commerce): il ne varie que du simple au double tout au plus, tant que le point de mesure reste à moins de 30 cm de l'axe. C'est la difficulté d'obtenir un faisceau quasi plan plus large qui nous a fait choisir des panneaux de 1 m² et non plus grands.

On a vu que les mesures devaient être faites sous deux incidences, si l'on admet la validité de la condition aux limites (1) et que l'on veuille déterminer les parties réelle et imaginaire de α (ou de z). Nous avons suggéré ailleurs [1] que, dans certains cas, une condition faisant intervenir deux nombres complexes spécifiques conviendrait peut-être mieux: il faudrait alors faire des mesures de \bar{C} sous 4 incidences différentes.

Enfin, une seule mesure pourra suffire, si l'on admet les hypothèses de Sabine dont il va être question dans le paragraphe suivant.

Coefficient d'absorption et temps de réverbération.

L'acoustique architecturale moderne repose en grande partie sur un postulat dû à Wallace Sabine, et qui relie la qualité esthétique à une grandeur physique. Ce postulat est le suivant:

La qualité acoustique d'une salle dépend d'un certain nombre de facteurs physiques, dont le plus important est le temps de réverbération, c'est-à-dire le temps que le son met à s'éteindre dans la salle après que sa source a cessé d'agir. Pour une classe d'utilisation déterminée (musique symphonique, chant, discours...) et une grandeur de salle donnée, il existe un temps de réverbération optimum à chaque fréquence.

On peut préciser la signification de ce postulat en remarquant que le champ sonore dans la salle après arrêt du fonctionnement des sources est la solution d'un problème de Cauchy aux vibrations libres, c'est-à-dire d'un problème où, pour chaque mode propre de vibration de la salle, on donne l'état initial à l'instant de la coupure. Le temps de réverbération est alors, pour chaque fréquence propre, et à un facteur constant près, l'inverse du décrement du mode, c'est-à-dire de la partie réelle de la valeur propre. Nous avons calculé [1] l'expression exacte de cette partie réelle: si ω est la pulsation propre considérée, φ le mode propre correspond (répartition spatiale du potentiel des vitesses

à la pulsation ω) on a pour le décrément cherché

$$\delta = \frac{\omega \int \frac{\varphi\varphi^* \cos \gamma}{Z} d\sigma}{\frac{2\omega}{c} \int \varphi\varphi^* d\tau - \int \frac{\varphi\varphi^* \sin \gamma}{Z} d\sigma}$$

Appliquons le théorème de la moyenne : en dénotant par $\ll f_D \gg$ une certaine valeur intermédiaire entre $\min f(P)$ et $\max f(P)$ pour $P \in D$, nous pourrions écrire

$$\delta = \frac{\omega \ll \varphi\varphi^* \gg \int \frac{\cos \gamma}{Z} d\sigma}{\frac{2\omega}{c} \ll \varphi\varphi^* \gg \int d\tau - \ll \varphi\varphi^* \gg \int \frac{\sin \gamma}{Z} d\sigma}$$

V étant l'enceinte, de frontière S , et $\int d\tau = v$ son volume. Faisons maintenant quelques hypothèses radicalement simplificatrices :

1° Les absorbants répartis sur S sont purement résistifs ($\gamma = 0$) ; c'est un idéal vers quoi tendent les meilleurs absorbants réels.

2° Le champ sonore résulte d'une superposition d'ondes planes d'incidences θ telles que $Z \cos \theta \gg 1$ (absorbant assez rigide et ondes assez peu inclinées).

3° L'état sonore de l'enceinte est quasi « homogène », c'est-à-dire que $(\max \varphi\varphi^* - \min \varphi\varphi^*)$ est petit dans toute portion de $V + S$. Cette hypothèse précise, trop schématiquement sans doute, l'équivalence de l'audition aux différents points de la salle.

Des hypothèses 1° et 2° on déduit que :

$$\alpha(\theta) = \frac{4 Z \cos \theta}{(Z \cos \theta + 1)^2} \approx \frac{4}{Z \cos \theta}$$

soit encore :

$$\frac{1}{Z} \approx \frac{1}{4} \int_0^{\pi/2} \alpha(\theta) \cos \theta \sin \theta d\theta = \frac{1}{8} \bar{\alpha}$$

en désignant par $\bar{\alpha}$ la moyenne des absorptions $\alpha(\theta)$ pour un mélange d'ondes où toutes les incidences seraient également probables ; de l'hypothèse 3° il résulte que l'on peut confondre $\ll \varphi\varphi^* \gg$ et $\ll \varphi\varphi^* \gg$; finalement :

$$\delta \approx \frac{c}{16 v} \int \bar{\alpha} d\sigma$$

On définit le temps de réverbération T comme celui au bout duquel l'énergie sonore est tombée

au 1/1 000 000 de sa valeur à l'instant de la coupure des sources : on a donc

$$T = \frac{3 \log 10}{2 \delta} \approx \frac{0,16 v}{\int \bar{\alpha} d\sigma}$$

c'est la célèbre formule de Sabine.

Les hypothèses moyennant quoi nous avons pu l'obtenir ne sont pas sérieusement tenables ; mais elles montrent dans quelles conditions son utilisation sera le moins erronée : champ sonore variant peu d'un point à l'autre de l'enceinte, parois très absorbantes. Tirer de la formule de Sabine une méthode pour la mesure indirecte de $\bar{\alpha}$ en salle réverbérante, c'est-à-dire dans les conditions les plus opposées (parois à absorption quasi-nulle, sauf sur une petite surface recouverte du matériau étudié ; par suite, champs à structure nettement « cristalline », avec surfaces nodales et ventrales marquées) apparaît un peu comme une gageure ; et l'on ne s'étonnera pas si, pour obtenir des résultats cohérents, il faut codifier minutieusement les conditions opératoires, ce qui est la caractéristique des mesures empiriques.

Notons en particulier les faits avérés suivants :

1° Une salle, une source et un panneau absorbant étant donnés, le temps de réverbération dans la salle dépend de l'emplacement de l'échantillon. La théorie ondulatoire permet de rendre compte de façon satisfaisante des variations observées (Barkechli, [2]).

2° Une salle et une source étant données, le temps de réverbération varie avec la surface totale de l'échantillon suivant une loi qui diffère appréciablement de la proportionnalité inverse prévue par la formule de Sabine, et aussi avec le morcellement de la surface, ce que la formule ne prévoit pas (Lamorai, [3]). On verra en se reportant à [3], dont notre expérience confirme entièrement les conclusions, que les variations du coefficient d'absorption calculé dans différentes circonstances sont considérables.

Il n'est peut-être pas inutile d'ajouter à ce dossier (dont les éléments n'ont rien de surprenant, à la lumière de ce qui a été dit plus haut) quelques données expérimentales supplémentaires :

3° Une salle et un échantillon absorbant étant donnés, le coefficient d'absorption calculé à partir du temps de réverbération diffère sensiblement suivant la nature du son utilisé. La figure 2 donne les résultats relatifs à un certain matériau, pour les 4 types de sources assez couramment préconisés : sons purs, spectre de bande (« bruit blanc ») de 5 et de 50 Hz de largeur, et son modulé dans un intervalle $f/10$.

4° Une salle, un échantillon, et un type de source étant donnés, les résultats dépendent de la dispo-

sition de la source. La figure 3 donne, pour deux matériaux de types très différents, les coefficients calculés par la formule de Sabine, l'échantillon étant au centre du plancher de la salle, et la source constituée par 4 haut-parleurs disposés, soit aux 4 coins du plancher, soit à ceux du plafond.

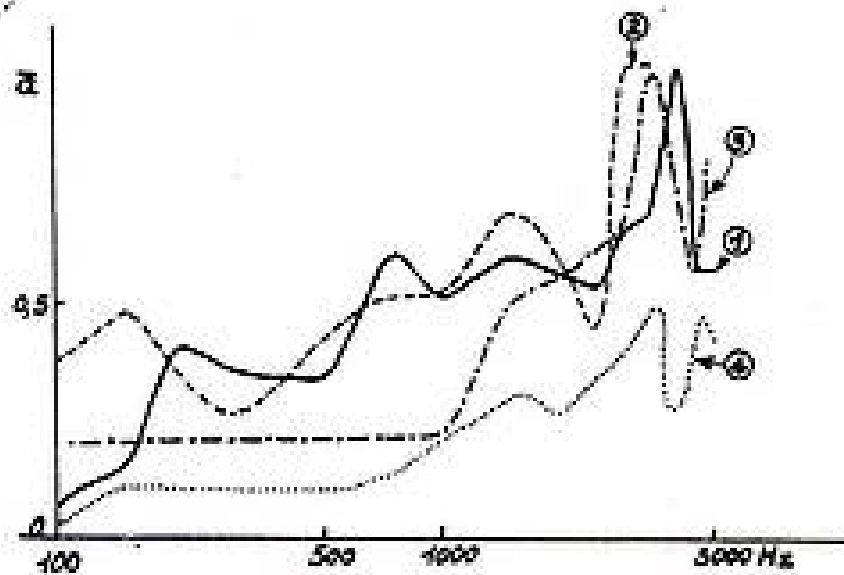


FIG. 2. — Effet de la nature du son, en salle réverbérante.

- 1 — Son pur.
- 2 — Son de bande, $\Delta f = 5$ Hz.
- 3 — Son de bande, $\Delta f = 50$ Hz.
- 4 — Son modulé, $\Delta f = f/10$.

Ainsi, les mesures en salle réverbérante conduisent à des résultats peu cohérents, dont on conclut sans hésiter que les conditions de validité de la formule

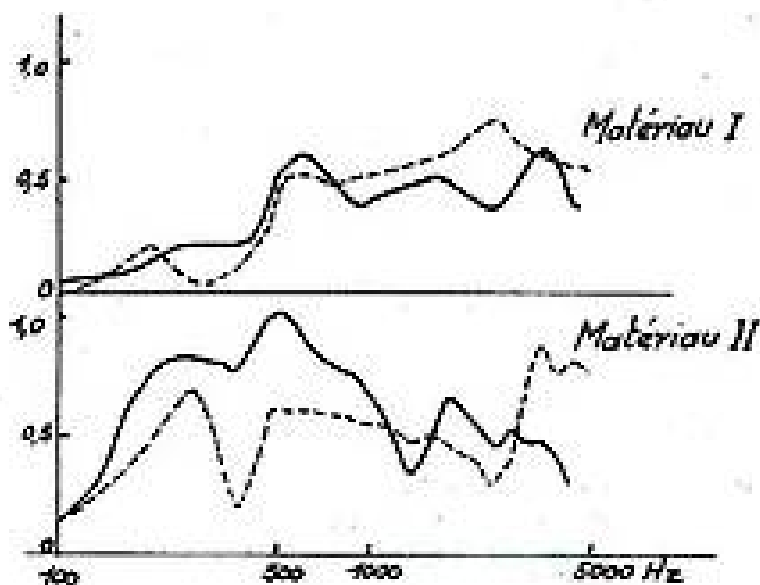


FIG. 3. — Effet de la position de la source en salle réverbérante.

- Coin du plancher.
- - - - Coin du plafond.

de Sabine ont été dépassées. Nous allons montrer que le point faible est ici l'hypothèse de l'égalité intervention des différentes incidences (ou « l'isotropie du champ sonore » postulée) : en effet, si l'on monte en salle réverbérante l'expérience qui permet de déterminer l'absorption sous une incidence donnée, et que l'on calcule le coefficient d'absorption à partir du temps de réverbération mesuré après coupure de la source d'ondes planes de direction connue, on obtient des résultats qui sont en accord très convenable avec ceux que donne l'installation

de la figure 1. C'est ce que montrent les deux courbes de la figure 4, d'où l'on conclut également à la grande cohérence des résultats obtenus par la méthode d'incidence.

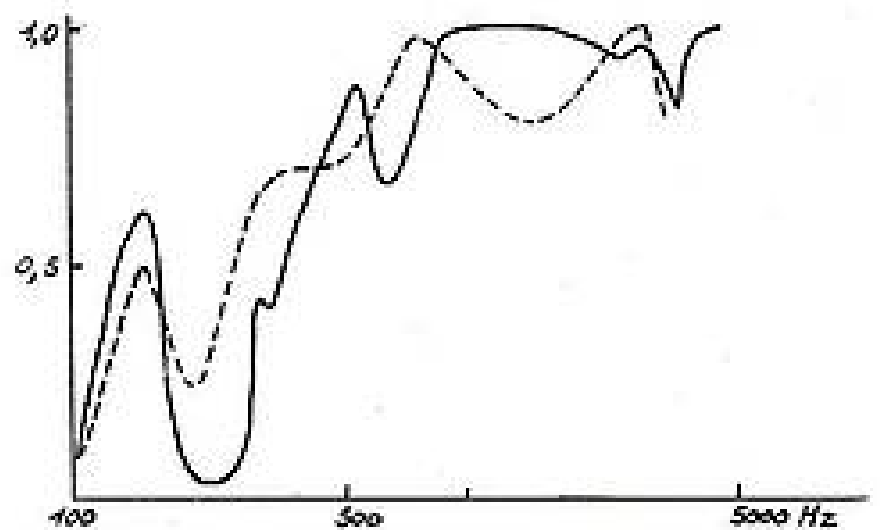


FIG. 4. — Absorption d'un échantillon sous l'incidence de 55°.

- En galerie (panneau de 1 m²).
- - - - Déduite du temps de réverbération en salle réverbérante (échantillon de 3,5 m²).

Mais si le temps de réverbération n'est pas un observable à recommander pour la déduction des coefficients d'absorption ou des impédances acoustiques, n'oublions pas qu'il demeure, conformément au très important postulat de Sabine, un facteur essentiel de qualité d'une salle. Aussi est-il indispensable de pouvoir prédéterminer ce temps, pour une salle de spectacle ou de conférences en projet ; celle-ci sera, en général, suffisamment différente d'une salle réverbérante pour qu'on puisse présumer valable la formule de Sabine, au moins en première approximation ; de sorte que T sera inversement proportionnel à la somme des absorptions moyennes $\bar{\alpha}$ définies plus haut, et qu'il est utile de relier cette grandeur aux observables $\alpha(\theta)$. C'est ce qu'il est bien facile de faire, si l'on admet la validité de la condition aux limites (1), donc la formule (2) pour $\alpha(\theta)$: en effet, l'intégration :

$$\bar{\alpha} = 2 \int_0^{\pi/2} \alpha(\theta) \cos \theta \sin \theta d\theta$$

s'effectue en termes finis, et donne, en posant $\cos \gamma = \lambda$

$$\bar{\alpha} = \frac{8\lambda}{Z} - \frac{8\lambda^2}{Z^2} \log(1 + 2\lambda Z + Z^2) - \frac{8\lambda(1 - 2\lambda^2)}{Z^2 \sqrt{1 - \lambda^2}} \left[\text{arc tg} \frac{Z + \lambda}{\sqrt{1 - \lambda^2}} - \text{arc tg} \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \lambda^2}} \right]$$

Cette expression prend une forme simple dans le cas où $1 - 2\lambda^2 = 0$, c'est-à-dire où $\gamma = \frac{\pi}{4}$. Cette valeur privilégiée de l'argument de Z est celle qui vaut pour le corps poreux théorique, constitué

comme un gâteau de miel, envisagé par Lord Rayleigh ; nous avons montré [4] qu'alors le coefficient d'absorption moyen est pratiquement égal à l'absorption sous 55° . Mais il n'est pas nécessaire de se placer dans des conditions aussi particulières, et que peu de matériaux réels satisfont : en effet, la figure 5

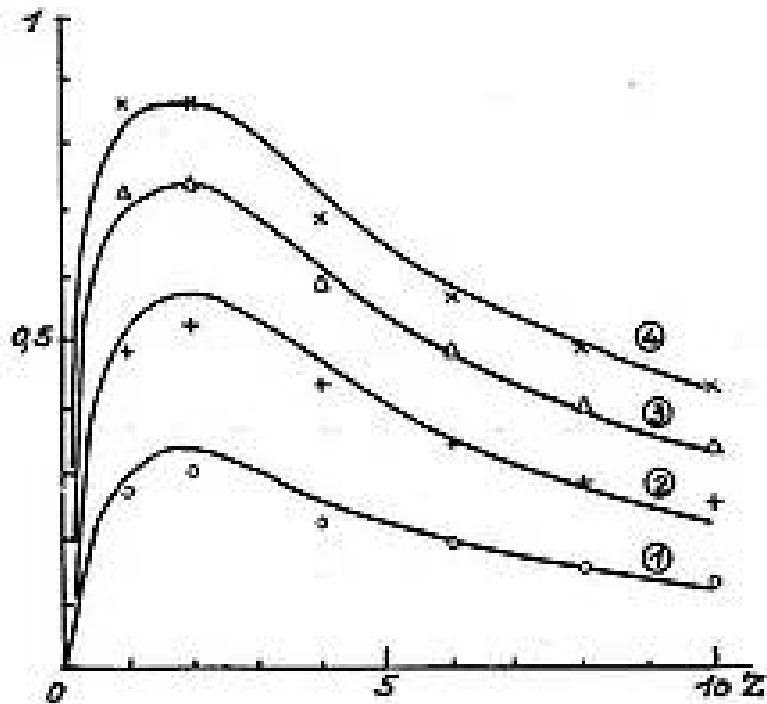


FIG. 5. — Comparaison des valeurs de $\bar{\alpha}$ avec celle de $\bar{\alpha}(55^\circ)$.

- 1. — $\lambda = 0,2$ — $\bar{\alpha}(55^\circ)$ \times $\bar{\alpha}$
- 2. — $\lambda = 0,4$ — $\bar{\alpha}(55^\circ)$ Δ $\bar{\alpha}$
- 3. — $\lambda = 0,6$ — $\bar{\alpha}(55^\circ)$ $+$ $\bar{\alpha}$
- 4. — $\lambda = 0,8$ — $\bar{\alpha}(55^\circ)$ \circ $\bar{\alpha}$

montre que pour toutes les valeurs de l'argument et dans toute la gamme pratique des modules d'impédance, $\bar{\alpha}$ ne diffère que peu de $\bar{\alpha}(55^\circ)$. C'est pour cette raison que l'incidence de 55° a été adoptée pour toutes les mesures faites au C.R.S. I.M. en vue de déterminer les propriétés acoustiques des matériaux de revêtement.

Depuis 1945, de très nombreux matériaux ou agencements de matériaux ont fait l'objet de mesures ⁽¹⁾, et un certain nombre — de mesures comparatives en salle réverbérante. Des centaines d'essais effectués, on peut dégager les conclusions suivantes :

⁽¹⁾ L'occasion est bonne pour dire notre amicale reconnaissance à toute l'équipe du Laboratoire, et en particulier à G. CORSAIR, notre collaborateur de la première heure.

1^o La mesure de $\bar{\alpha}$ sous une incidence donnée fournit des résultats remarquablement concordants lorsqu'on reprend le même matériau, avec la même installation, à plusieurs années de distance ; et des résultats très convenablement concordants lorsque l'expérience est recommencée sur le même échantillon avec un autre appareillage, dans une salle de laboratoire de conception différente. Il n'y a ni « tour de main », ni précautions à observer autres que celles qui sont de règle en physique expérimentale.

2^o Cette mesure est aisée à faire, par le procédé direct, pour des angles d'incidence compris entre 30° et 60° environ. Nous avons fait, pour des incidences plus faibles, des mesures indirectes fondées sur le principe des interférences, comme dans un tuyau de Paris, mais on ne peut accorder aux résultats qu'une confiance limitée.

3^o Les $\bar{\alpha}(55^\circ)$ mesurés sont sensiblement différents des $\bar{\alpha}$ obtenus en salle réverbérante par les procédés usuels. La courbe qui représente leurs valeurs en fonction de la fréquence a la même allure générale, mais des ordonnées le plus souvent supérieures.

Au reste, pour cinq matériaux de types très différents qui ont été essayés par la méthode de l'incidence et par plusieurs méthodes « classiques », l'écart entre $\bar{\alpha}(55^\circ)$ et le $\bar{\alpha}$ qui s'en rapproche le plus est du même ordre que ceux entre les divers résultats « classiques » également légitimes. Enfin, l'ordre de classement qualitatif des matériaux reste invariant.

La comparaison avec les méthodes de mesure de Z , et la vérification de la validité de (1), sont des questions plus délicates, et que nous ne sommes pas encore en mesure de discuter pertinemment.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] VOGEL Th. Sur les conditions aux limites de l'équation du son. *Acustica*, 2 (1952), 281-286.
- [2] BARKECHLI M. Régime sonore d'une salle après extinction de la source. *Acustica*, 2 (1951), 59-74.
- [3] LAMORAL R. Sur le coefficient d'absorption des matériaux acoustiques. *Onde Electr.*, 33 (1953), 461-467.
- [4] VOGEL Th. Sur la mesure du coefficient d'absorption du son. *Ann. Télécomm.*, 8 (1953), 93-96 ; cf. aussi : C. R. S. I. M. Notes n° 64 (1945), 1-4.

ISOLEMENT ACOUSTIQUE DE STRUCTURES LOURDES

PAR

J. PUJOLLE

Ingénieur en chef des télécommunications

I. — Objet des mesures.

Dans plusieurs constructions de centres de Radio-diffusion et Télévision et notamment dans la future Maison de la Radio de Paris, se trouveront de grands studios placés au voisinage immédiat les uns des autres. Il faut que les parois qui les séparent soient très isolantes pour que l'exploitation des studios voisins puisse être faite sans aucune gêne réciproque.

Le but des essais entrepris par la division Acoustique du Service des Bâtiments de la R.T.F. était de rechercher la structure lourde la plus économique qui soit juste suffisante pour assurer un isolement acoustique convenable entre ces studios.

Il a été parfois dit dans la littérature technique qu'un isolement moyen de 65 à 70 dB entre des studios voisins était suffisant pour qu'il n'y ait aucune gêne réciproque. Nous verrons par la suite ce qu'il faut penser de cette donnée. Disons tout de suite que cette valeur est nettement trop faible. Elle avait été retenue néanmoins par nous avant les mesures, pour la construction des salles d'essais.

II. — Salles de Mesures.

Un laboratoire fut spécialement construit pour ces essais. Il comporte essentiellement 2 chambres, chacune de 30 m² environ, séparées par la structure à essayer faisant 3,50 m par 2,50 m soit 8,75 m² (Fig. 1). Des précautions spéciales ont été prises pour que les transmissions indirectes entre ces 2 chambres soient réduites au minimum. Les sources sonores devaient être placées dans une chambre dite d'émission, et écoutées dans une chambre, dite de réception. Cette dernière chambre devait être extrêmement bien

isolée à la fois de l'extérieur et de la chambre d'émission par voie indirecte. Elle est constituée par une double enveloppe de murs de béton banché de 35 cm d'épaisseur séparés par un intervalle d'air de 65 cm constituant une cavité amortie avec de la laine de verre collée sur ses faces intérieures. L'accès à cette chambre ne peut se faire qu'après avoir traversé 3 petites ouvertures de 0,60 × 0,80 m fermées par des portes lourdes métalliques, spécialement conçues pour avoir un très fort pouvoir isolant.

Les parois des 2 chambres sont séparées par une coupure générale remplie de liège. Il y a évidemment double plancher et double plafond et les murs ne reposent sur le radier général que par l'intermédiaire d'une feuille de plomb. Le plafond intérieur ne repose sur les murs que par l'intermédiaire d'une couche de Klegecell. Toutes ces dispositions ont été prises en vue de réduire au minimum les transmissions indirectes du son et des vibrations.

Les murs ont été revêtus d'un enduit ciment bien lisse, ce qui rendait les 2 salles très réverbérantes. La salle de réception fût traitée par la suite pour plusieurs raisons :

1° Eviter les phénomènes de résonance dans la chambre, dus à l'existence de fréquences propres bien distinctes dans la zone des basses fréquences ;

2° Ramener le temps de réverbération autour de 0,5 s, temps à peu près normal pour un bureau de ces dimensions. Nous avons pu ainsi par la suite écouter dans des conditions normales des enregistrements de musique passés dans la chambre d'émission à un niveau égal à celui qui existe dans un grand studio d'orchestre symphonique. Il était ainsi possible de se rendre compte si le niveau d'intensité des sons reçus dans la 2^e chambre était assez bas pour ne causer aucune gêne aux personnes se trouvant dans cette salle.

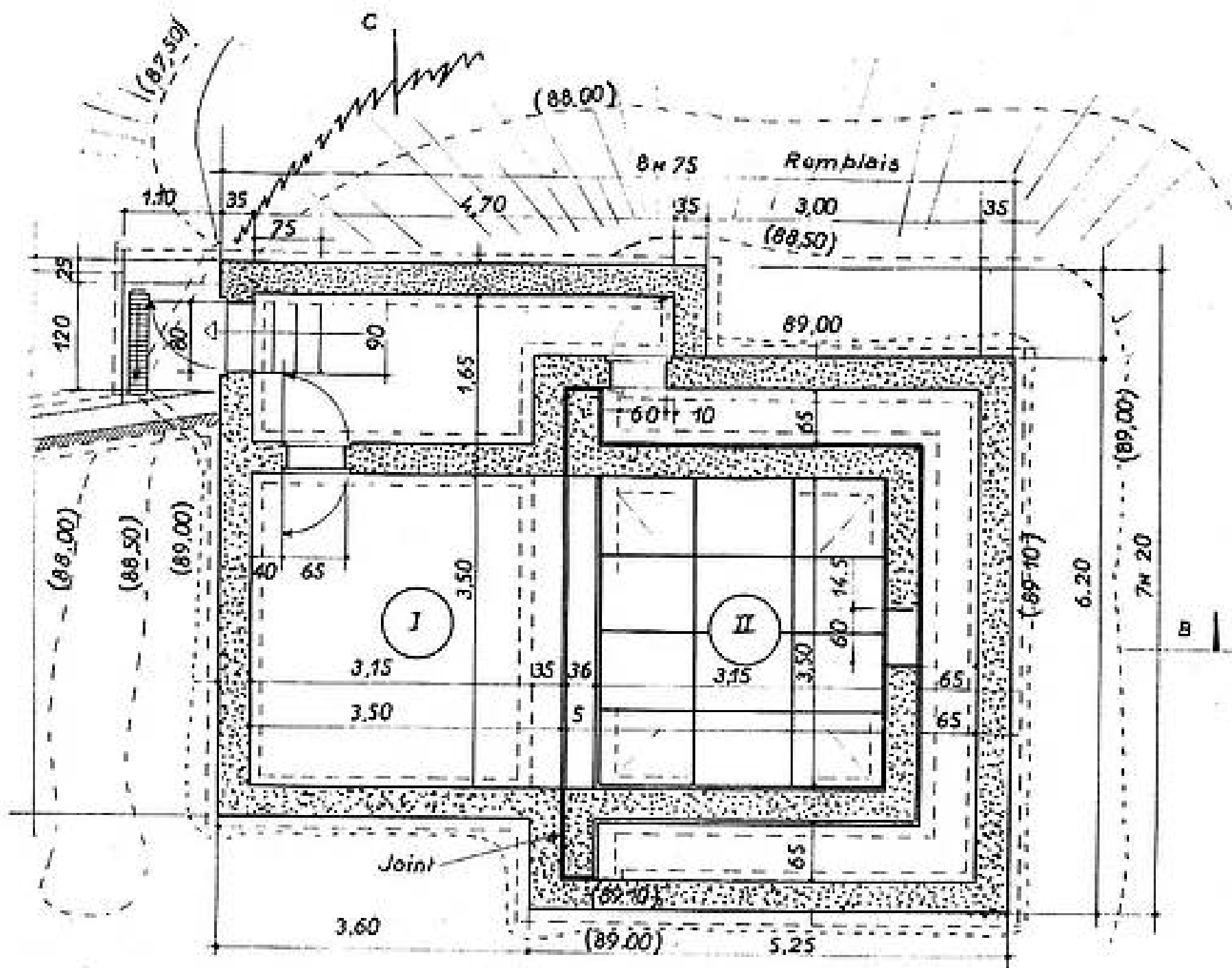


FIG. 1

3° Rendre à peu près nul le terme $\log \frac{A}{S}$ qui apparaît dans la formule donnant l'isolement acoustique :

$$D_n = L_1 - L_2 - 10 \log \frac{A}{S}$$

$$D_n = L_1 - L_2 - 10 \log \frac{A}{S}$$

En effet $S = 3.50 \times 2.50 = 8.75 \text{ m}^2$

et $A = \frac{0.16 V}{T_r}$ où $V = 27 \text{ m}^3$, $T_r = 0.5$ environ

donc $A = 8.6$ environ.

Les valeurs données plus loin pour l'isolement des murs seront donc en réalité celles de l'isolement brut $D = L_1 - L_2$, étant bien entendu qu'elles diffèrent très peu de l'indice d'affaiblissement acoustique :

III. — Appareillage de mesure.

Le bruit était produit par un souffle de tube cathodique très amplifié ; ce bruit a un spectre continu très large. Il était découpé par un filtre tiers d'octave, puis il passait par un amplificateur de puissance 100 watts alimentant une batterie de haut-parleurs. Comme certaines structures essayées étaient très isolantes, il était indispensable de produire un bruit très intense dans la chambre d'émission. Nous sommes arrivés jusqu'à 130 dB environ pour certaines bandes de fréquences. Le bruit « blanc » a été préféré à tout autre type de bruit parce qu'il donne un niveau d'intensité acoustique dans les chambres assez constant d'un point à un autre.

La chaîne de réception était formée d'un microphone dans chaque chambre d'un préamplificateur à grand gain, d'un 2^e filtre tiers d'octave pour réduire au minimum le bruit de fond et d'un enregistreur de niveau rapide.

	COUPURE				DATE D'ESSAI	POIDS TOTAL EN Kg/m ²	ISOLEMENT MOYEN A 560 Hz	LOI DE MASSE	AMELIOR.
1	BRIQUE 33	VIDE 30	BRIQUE 33		22/9/56	1350	69	56,5	12,5
2	BRIQUE 33	LAIN DE VERRE 30	BRIQUE 33		12/4/30/56	1350	74	56,5	17,5
3	BRIQUE 33	LAIN DE VERRE 30	VIDE 33		8/10/56	1350	75,4	56,5	18
4	BRIQUE 33	LAIN DE VERRE 15	PARRANG CIMENT 20		18/10/56	1160	75	55	18
5	BRIQUE 33	SABLE 15	PARRANG CIMENT 20		20/10/56	1350	70	56,5	13,5
6	BRIQUE 33	LAIN DE VERRE 15	PARRANG 20	LAIN DE VERRE 15	8/11/56	1800	80 (1) 87 (2)	55	22 29
7			PARRANG 20	LAIN DE VERRE 15	20-27/12/56	1100	67 (1) 73 (2)	55	12 16
8			PARRANG 20		12/1/55	660	59	69	10
9	PARRANG 20	LAIN DE VERRE 15	PARRANG 20		24/1/55	880	77	54	23
10	PARRANG 20	LAIN DE VERRE 20	PARRANG 20	LAIN DE VERRE 20	21/3/55	1320	94 (2)	56,5	37,5

(1) 1^{ere} METHODE GLOBALE

(2) 2^{eme} METHODE : TRANSMISSION DIRECTE SEULE

(2) LA METHODE AMELIOREE : TRANSMISSION DIRECTE SEULE

TABEAU I. — Isolation des murs essayés par la R. T. F.

Une commutation manuelle permettait de passer d'un microphone à l'autre. Le microphone utilisé dans la chambre de réception devait être très sensible, puisque les niveaux recueillis étaient très faibles. Nous avons d'abord employé des microphones électrodynamiques du type 55. A. Melodium, puis un microphone spécial qui possédait une sensibilité supérieure de 15 à 20 dB à celle du 55 A. dans la zone des fréquences 800 à 2 500 Hz, zone très intéressante puisque correspondant aux plus forts isollements.

Les fréquences de mesure correspondant aux fréquences centrales des bandes passantes des filtres étaient les fréquences normalisées 100, 120, 160 et la suite jusqu'à 3 200 Hz. Parmi les résultats figurent aussi les isollements moyens, calculés comme moyenne des isollements pour les 16 bandes passantes des filtres. Ces valeurs moyennes donnent une bonne idée de la valeur des structures isolantes, car, pour les très forts isollements que nous avons mesurés, les courbes sont assez régulières. Elles montent de 100 à 3 200 Hz et l'isollement moyen est très voisin de celui qui est relevé à 565 Hz, moyenne géométrique de 100 et 3 200 Hz.

IV. — Résultats des mesures.

Les structures essayées étaient constituées par 2 types de murs :

1° Mur de briques pleines de 33 cm d'épaisseur ;

2° Mur de parpaings de ciment de 20 cm d'épaisseur. Ces parpaings étaient fabriqués dans des moules, puis les vides intérieurs étaient soigneusement remplis de ciment.

Les murs étaient séparés par des intervalles d'air de 30 ou 15 cm en général remplis de laine de verre en vrac.

Le premier mur construit était recouvert sur ses 2 faces d'un enduit ciment de 2 cm d'épaisseur, le 2° mur d'un enduit sur la seule face extérieure, puisqu'il n'était pas possible d'atteindre la face intérieure.

Le tableau I schématise la suite des opérations effectuées, et les résultats obtenus.

Nous avons commencé avec 2 murs de briques et recherché l'influence du remplissage de l'intervalle d'air et de sa grandeur.

Remplir complètement l'intervalle de 30 cm avec de la laine de verre fait monter l'isollement de 5 dB environ. Il revient au même d'appliquer sur un côté de l'intervalle de la laine de verre bakélisée de 8 cm d'épaisseur.

Après l'essai n° 3, une écoute fut faite dans la chambre de réception. Elle a montré que la structure n° 3 était insuffisante au point de vue isollement. Certaines parties de l'enregistrement étaient entendues nettement. L'isollement était pourtant de 74.5 dB en moyenne. Cette valeur se révélait trop faible et nous avons en vue dès ce moment d'utiliser une structure comprenant trois murs.

Auparavant nous avons recherché un allègement des murs en remplaçant le mur de briques de 33 par un mur de parpaings de ciment de 22. Et pour diminuer l'encombrement qui devenait trop important pour trois murs nous avons réduit l'intervalle d'air de 30 à 15 cm.

Ces modifications n'ont pas entraîné de baisse sensible de l'isollement par rapport à l'essai n° 3. C'est dire l'excellence du mur de parpaing de ciment, ce qui sera confirmé par la suite.

Au passage nous avons voulu avec le 5° essai, examiner ce que pouvait apporter le sable remplissant complètement l'intervalle d'air. Malgré une augmentation de poids de plus de 200 kg, l'isollement ne fut pas amélioré, bien au contraire, il a baissé de 3 dB. Le sable n'était pas un matériau de remplissage à retenir, parce que formant pont acoustique entre les 2 éléments de la structure isolante.

La structure n° 4 fut alors reprise et un 3° mur de briques de 33 lui fut ajouté (encombrement total : 1,34 m) pour voir si une structure de 3 murs était suffisante. Les premiers résultats donnaient un isollement moyen de 80 dB, qui, à l'écoute, se révélait encore insuffisant, mais il était à peu près certain que les transmissions indirectes prenaient une importance prépondérante. Les valeurs trouvées n'étaient donc pas celles de l'isollement des 3 murs.

Nous avons eu l'idée de prendre un haut-parleur très puissant et de l'enfermer dans une boîte ouverte côté de la structure à essayer. La boîte était appliquée par ce côté sur le mur en essai. L'affaiblissement des transmissions indirectes était ainsi augmenté de 10 à 15 dB. L'isollement moyen est alors passé de 80 à 87 dB.

Une écoute faite dans la chambre de réception nous révéla qu'effectivement la musique devenait presque inaudible, seuls les sons de fréquences situées dans la bande 300-600 Hz pouvaient encore causer une légère gêne. Comme les parpaings de ciment paraissaient meilleurs que la brique, nous avons remplacé les 2 murs extérieurs de briques de 33 par 2 murs de parpaings de ciment de 22 cm.

Un mur de briques fut d'abord démoli (essai n° 7), celui qui était du côté chambre de réception. Les 2 murs restant se trouvaient donc du même côté de la coupure entre les 2 chambres. Ils étaient ainsi étroitement liés par leurs bords. Le résultat n° 7 comparé au n° 4 le montre bien : 67 dB au lieu de 73, soit une différence de 6 dB.

La mesure faite par la 2° méthode, avec une boîte supplémentaire donne 73 dB ; fait remarquable, c'est le même isollement que celui de l'essai n° 4, ce qui montre bien l'efficacité de la coupure faite dans le bâtiment pour affaiblir les transmissions indirectes. On perd 6 dB quand les murs sont liés par leurs bords.

Le 2° mur de briques fut démoli : essai n° 8. Seul restait le mur de parpaings de ciment. Comme prévu son isollement était très bon : 59 dB en moyenne, supérieur à celui d'un mur de briques d'au moins 50 cm d'épaisseur.

L'ensemble des résultats pour ces 8 essais était très cohérent. La comparaison des essais 4 et 8 d'une part,

6 et 7 d'autre part, montrait que l'adjonction d'un mur de briques de 33 à une structure, mur séparé par une coupure de cette structure faisait monter l'isolement de 14 dB.

La comparaison de 7 et 8 d'une part, 4 et 6 d'autre part montrait une amélioration de 7 à 8 dB seulement lorsque le mur de briques ajouté à la structure n'est pas séparé d'elle par une coupure. On en revient toujours à un chiffre de 6 à 7 dB pour évaluer l'efficacité de la coupure.

Les derniers essais 9 et 10 portent sur 2 et 3 murs de parpaings de ciment. Les intervalles d'air sont toujours de 15 cm et remplis de laine de verre en vrac. L'isolement moyen pour 2 murs est de 77 dB supérieur à celui de 2 murs de briques de 33 séparés par 30 cm (essai n° 2 : 74 dB).

La comparaison des essais 8 et 9 d'une part, 4 et 8 d'autre part donne 14 dB d'amélioration pour l'adjonction d'un mur de briques, 18 dB pour le mur de parpaings.

était appliquée contre les murs en essai. L'isolement supplémentaire qu'elle apportait aux transmissions indirectes était de l'ordre de 20 dB. L'isolement moyen mesuré est de 94 dB. La musique symphonique émise dans la chambre source était devenue inaudible dans la chambre de réception. La structure recherchée était trouvée.

Il faut ajouter que le 3^e mur de parpaings placé du côté de la chambre source avait été monté sur du liège sur ses 4 bords. Les résultats trouvés indiquent de façon claire qu'il est indispensable de créer 2 coupures dans la construction entre le 1^{er} et 2^e mur, ainsi qu'entre le 2^e et le 3^e.

Les tableaux de résultats indiquent dans les 2 dernières colonnes les isoléments que donneraient les murs s'ils ne formaient qu'un seul mur compact et les améliorations par rapport à ces valeurs des isoléments trouvés pour les structures complexes.

Les valeurs de l'isolement en fonction de la fréquence ont été portées sur les courbes de la figure 2. On

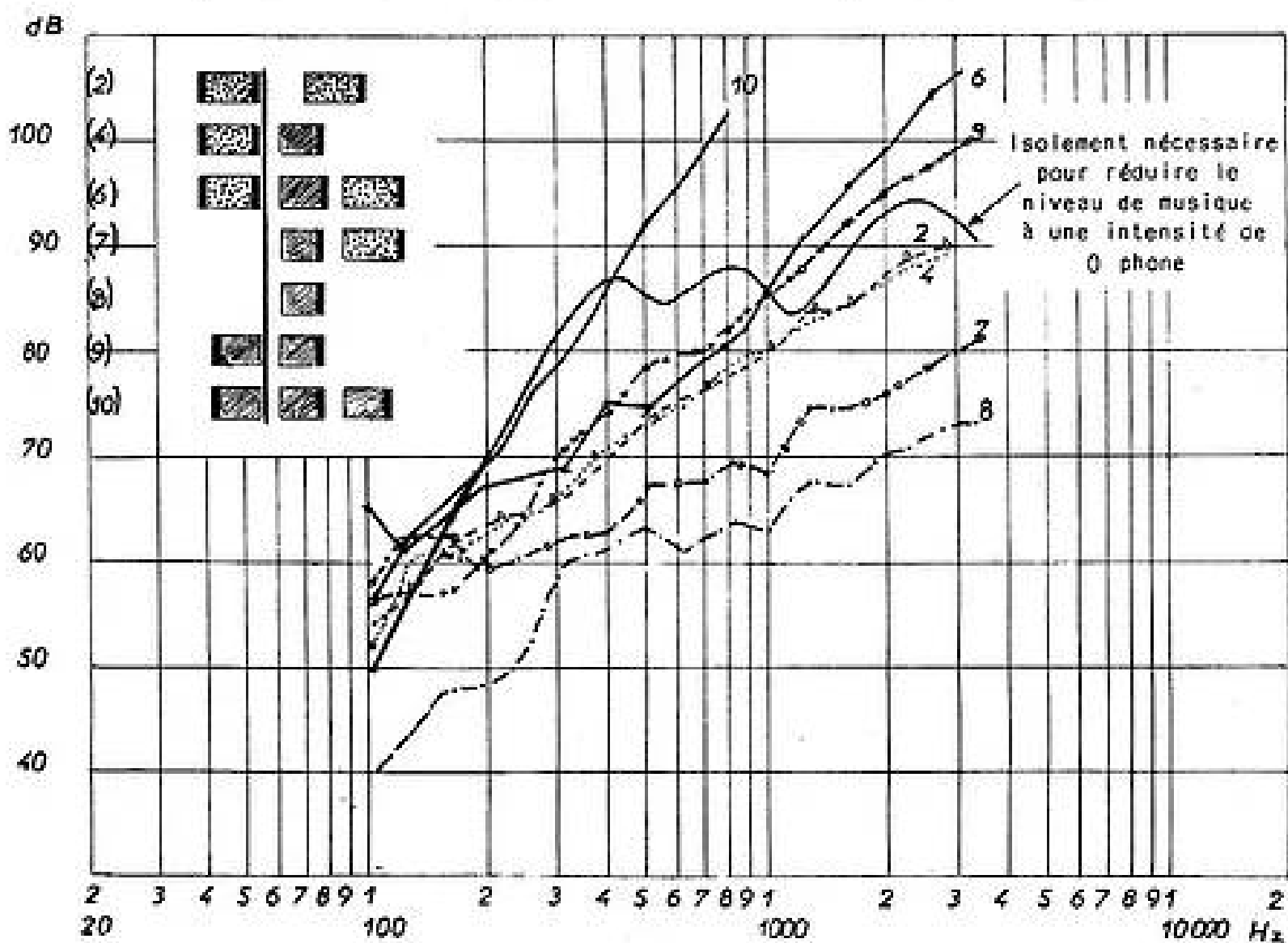


FIG. 2.

Le mur de parpaings est donc meilleur de 4 dB. La comparaison de 8 et 9, 6 et 7 donne une différence de 5 dB en faveur des parpaings. La concordance est excellente.

Comme l'isolement prévu pour l'essai n° 10 était très fort, nous avons aménagé une véritable petite chambre dans la chambre d'émission, cette boîte

you voit que l'isolement augmente assez régulièrement en fonction de la fréquence et les courbes peuvent être rangées en 3 catégories :

1^o Courbes dont la pente moyenne est la plus faible : 5 dB par octave. Ces courbes concernent les murs uniques ou les ensembles de murs se comportant comme un seul mur ;

2° Courbes dont la pente moyenne est de 7 à 10 dB par octave ; se rapportent aux véritables doubles murs ou aux ensembles de murs se comportant comme 2 murs bien séparés ;

3° Courbes dont la pente moyenne est la plus forte : 15 dB environ par octave pour les triples murs.

Sur la même figure nous avons rapporté la courbe donnant l'isolement nécessaire pour réduire le niveau de musique symphonique (niveau maximum de 75 % des pointes) à une intensité physiologique de 0 phone

dans la chambre de réception, d'après le spectre moyen donné pour la musique de certains orchestres par Sivian, Dunn et White (J.A.S.A. - 2, 330 - 1931). Ce graphique met encore en évidence l'excellence de l'isolement des 3 murs de la combinaison 10. Pour finir nous répéterons que cet isolement n'a été obtenu qu'après avoir affaibli considérablement les transmissions indirectes. Le succès d'une réussite dans les très forts isollements n'est obtenu qu'à cette condition: prendre de très importantes précautions pour empêcher les transmissions indirectes.

NOUVELLE CARACTÉRISTIQUE ACOUSTIQUE DES SALLES ET RÉALISATION D'UN COMPTEUR ÉLECTRONIQUE POLYVALENT

PAR

R. LAMORAL

Ingénieur Docteur, Ingénieur des Télécommunications

ET

R. TREMBASKY

Chef de Section Technique

Principe

Jusqu'à ces derniers temps, il était admis de caractériser studios et salles de concert par la notion de temps de réverbération. Or, cette caractéristique est importante certes, mais insuffisante pour définir l'acoustique des salles.

Un second paramètre permettant vraisemblablement d'avoir une idée plus précise sur la qualité d'un studio serait un *indice de diffusion en fonction de la fréquence*, de même que l'on utilise l'idée de temps de réverbération en fonction de la fréquence.

lorsque les murs sont très diffusants (polycylindres sur toutes les faces par exemple) la prise de son devient difficile, en particulier pour les émissions dramatiques en raison d'une impossibilité de localiser les différentes sources sonores.

Entre ces deux cas extrêmes, il y a pour chaque utilisation d'une salle (musique, théâtre, etc...) une *diffusion optimum* à obtenir de même qu'il y a un temps de réverbération optimum que l'on s'efforce de réaliser dans chaque cas.

On peut aussi affirmer que l'indice de diffusion doit se trouver entre deux courbes limites (figure 2), de même que le temps de réverbération doit se

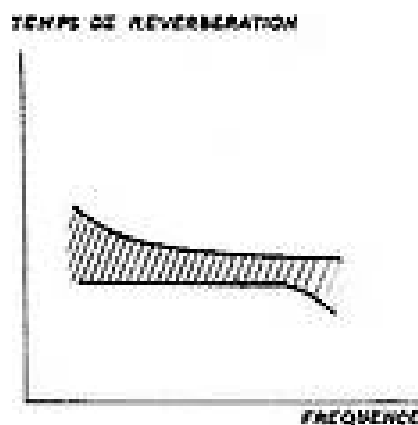


FIG. 1

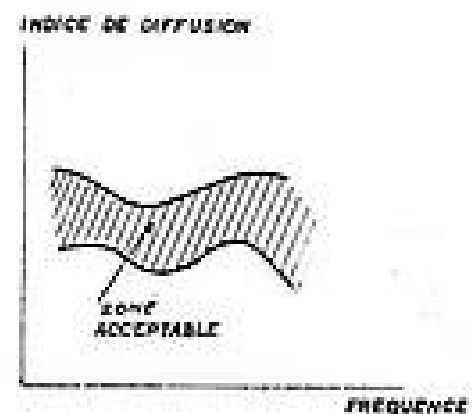


FIG. 2

Remarquons tout d'abord le point suivant :

Il est connu que lorsque la diffusion du son est faible (murs lisses à traitement acoustique homogène) la salle est médiocre et à l'autre extrême,

trouver entre deux courbes limites (figure 1) ceci pour un volume donné et une utilisation donnée. Autrement dit il y aurait une certaine « zone » dans

laquelle devrait se trouver l'indice de diffusion en fonction de la fréquence si l'on veut espérer obtenir dans le local considéré des qualités acoustiques intéressantes.

Remarque.

Des essais avaient déjà été entrepris par la Division Acoustique, il y a quelques années à l'occasion de la réalisation des studios de Lille : on explorait la salle point par point à l'aide d'un sonomètre pour déterminer les irrégularités de niveaux. Cette méthode s'avéra très imprécise vu les appareils à notre disposition ; les erreurs de lecture sur le sonomètre étaient du même ordre de grandeur que les écarts de niveaux d'une position microphonique à l'autre. Par ailleurs cette tentative de mesures n'entraîne pas dans le cadre d'une idée générale.

Plan de l'étude.

Nous désirions au départ :

1. — Définir cet indice de diffusion.
2. — Mettre au point un appareil susceptible de le mesurer.

DIFFUSION

Nous avons décidé de compter les irrégularités de niveau dans une salle ou dans une maquette de la manière suivante :

— Supposons que, à l'aide d'un générateur basse-fréquence suivi d'un amplificateur de puissance et de deux haut-parleurs répartis on envoie dans la salle un son d'une certaine fréquence à un niveau maintenu parfaitement constant à la source.

— Si on explore à l'aide d'un microphone tournant placé à l'extrémité d'un bras (d'environ deux mètres) le niveau sonore dans la salle, on enregistre évidemment des variations en fonction de la position du microphone, donc du temps.

— On peut compter à l'aide d'un compteur spécial les pointes de niveaux atteignant une certaine valeur (*réglable*) au-dessus du niveau dit « moyen » et cela pour toute la gamme des fréquences audibles.

APPAREIL

— Un fait nous est apparu au cours de la réalisation de l'appareil : il était possible de mesurer non seulement la diffusion comme prévu au début, mais encore bien d'autres paramètres caractéristiques. Cela a évidemment compliqué le dispositif réalisé mais nous permet de mesurer plusieurs caractéristiques considérées jusqu'à présent comme intéressantes en acoustique architecturale et ce qui suit montre assez bien combien s'est élargi notre champ d'action initial.

Possibilités actuelles.

1. — Mesure et comptage (jusqu'à 10 000) des variations de tension (pouvant descendre jusqu'à 0.1 dB) pour des fréquences de variations comprises

entre τ et 4 000 à la seconde : application aux irrégularités de niveaux (diffusion) comme exposé plus haut. C'était là notre but initial.

2. — Mesure de variations de tension, mais autour d'une valeur moyenne décroissante cette fois : application donc aux irrégularités de décroissance pendant un temps de réverbération.

3. — Mesure du temps de réverbération lui-même à toutes les fréquences désirées et découpage de celui-ci en tranches dans le temps pour le cas où on serait intéressé par l'étude particulière d'un début de décroissance par exemple.

4. — Mesure de l'intervalle de temps séparant deux variations successives de niveau, ou si l'on veut, mesure de l'intervalle de temps entre deux impulsions (il reste possible de discriminer ici des impulsions d'amplitudes différentes).

5. — Mesure de la différence de niveau entre les deux premières impulsions d'un train d'impulsions (d'un nombre quelconque) : application à la mesure des isollements phoniques même sur chantiers. La méthode de M. Raes devient alors susceptible d'une précision impossible à l'origine.

6. — Mesure des fréquences comprises entre τ et 30 000 c/s.

7. — Mesure des irrégularités de niveau d'une voix ou morceau de musique (c'est une mesure analogue à 1 mais au lieu d'explorer « géographiquement » une salle en y envoyant une excitation constante, on mesure en un point fixe en étudiant les variations du niveau sonore en ce point.

8. — Mesure des irrégularités de réponse des systèmes électroacoustiques.

Ces possibilités ne sont pas restrictives, mais une recherche d'autres applications aurait retardé les premières réalisations, ce que nous désirions éviter.

Remarquons pour terminer que l'appareil est étalonné en *sonomètre*, sa limite inférieure étant de 34 dB (niveau acoustique). Ceci signifie que nous sommes en mesure d'enregistrer une variation de niveau de 0.1 à 0.2 dB autour de 34 dB. 34 dB correspond à une tension d'entrée à l'amplificateur de 1 micro-volt.

Le tableau suivant donne schématiquement le fonctionnement de notre dispositif dans les différents cas d'application. Pour chaque utilisation, à chaque point du schéma, correspond une forme d'onde indiquée à la même hauteur.

Chaîne d'appareillage.

La chaîne se compose de :

- un microphone tournant,
- un amplificateur
- un compteur et ses circuits annexes.
- Le microphone tournant et l'amplificateur sont classiques et nous ne les décrivons pas ici.

— Tous les montages de compteur électronique exigent à leur entrée des impulsions négatives ou positives. Une méthode simple pour obtenir de telles impulsions consiste à différencier des signaux à fronts

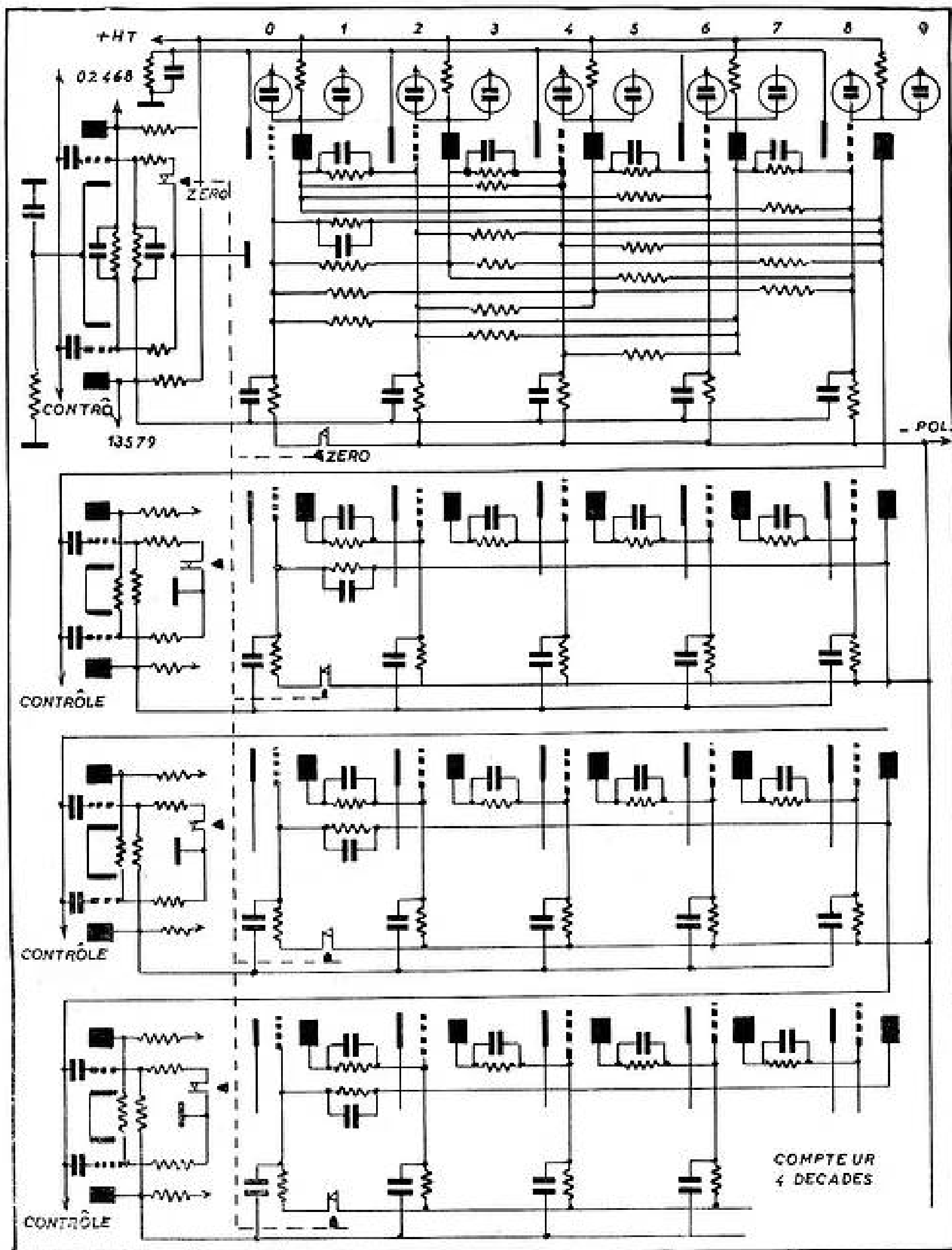


FIG. 3. — Schéma général

raides, c'est-à-dire des signaux rectangulaires, obtenus dans ce cas à partir des signaux quelconques enregistrés par le microphone et amplifiés par l'amplificateur lui faisant suite.

— Par ailleurs les variations que nous cherchons à compter ne sont pas rectangulaires : il nous faut donc transformer des signaux quelconques en signaux rectangulaires, lesquels une fois différentiés et donc

transformés en impulsions brèves seront capables de faire fonctionner le compteur proprement dit.

- De plus, lorsque nous envoyons une fréquence quelconque dans la salle, le compteur compte automatiquement cette fréquence et non les variations de son enveloppe. Il faut donc prévoir une détection et un filtrage de manière à ne compter que les irrégularités de l'enveloppe et non la fréquence porteuse.

- Enfin, étant ignorants des limites de fréquence des variations, il nous a paru bon de se réserver la possibilité de transformer en signaux rectangulaires aussi bien les variations d'une tension continue que d'une tension alternative (ceci pour permettre le comptage de variations lentes). Il peut arriver en effet que dans certains cas les variations soient extrêmement lentes, c'est-à-dire la fréquence de variation très faible.

La chaîne se composera donc en fait de :

- un microphone tournant, enregistrant le niveau sonore dans la salle ou la maquette,
- un amplificateur amplifiant le signal recueilli par le microphone,
- un redresseur éliminant la moitié négative du signal,
- un filtre éliminant la fréquence porteuse,
- un transformateur de signaux quelconques en signaux rectangulaires,
- un différentiateur transformant les signaux rectangulaires en impulsions brèves,
- un compteur proprement dit avec ses réglages.

Montages utilisés dans les divers éléments.

Les différents éléments de la chaîne définie ci-dessus sont plus ou moins dérivés de montages connus (Trigger, bascule de Schmitt, etc...) utilisant 2 tubes ou plus, couplés entre eux de telle sorte que un seul tube débite à la fois, bloquant les autres pendant ce temps.

Le compteur, capable de compter jusqu'à 9999 est composé de 4 décades fonctionnant en 2 fois 5, montage plus économique que le « ring counter » initialement réalisé. Il est très stable, fonctionnant depuis 6 mois maintenant sans aucune panne ou reréglage, et d'une inertie extrêmement faible (inférieure à 30 micro-secondes).

Sur les clichés, tout ce qui est compté est représenté par les *flancs descendants* des signaux rectangulaires (différenciés par la suite).

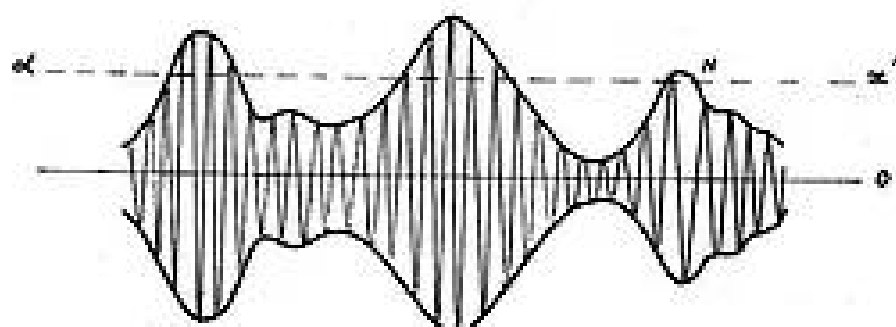


FIG. 4

Utilisations

(Détail des opérations dans chaque cas)

1° - MESURE ET COMPTAGE DES IRRÉGULARITÉS DE NIVEAUX

Soit le signal suivant enregistré par le microphone (la porteuse, c'est-à-dire la fréquence distribuée par les haut-parleurs, avec pour enveloppe la courbe des niveaux en f (position du microphone).

Si nous désirons compter les irrégularités dépassant tel ou tel niveau sonore moyen, il s'agit en fait de pouvoir faire varier la hauteur de la droite $x x'$ représentant le niveau N par rapport au O et pour chaque « hauteur » de $x x'$ d'enregistrer le nombre de bosses (ou de creux).

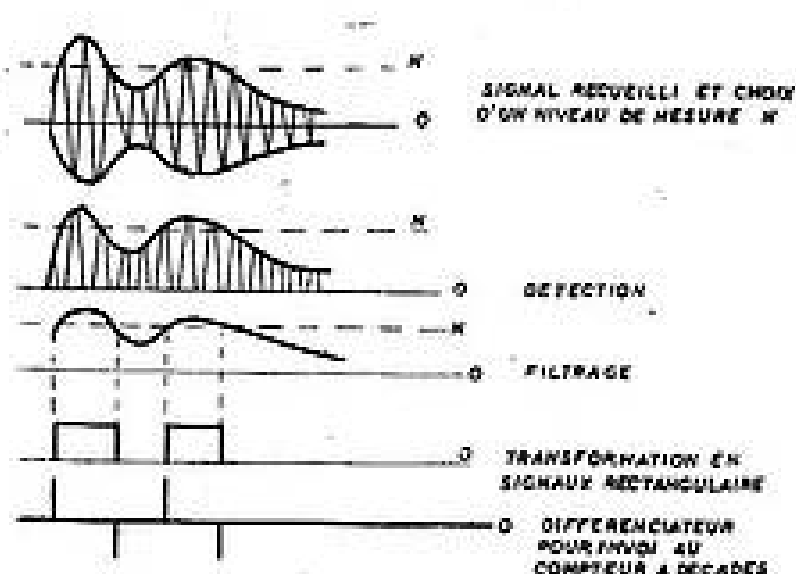


FIG. 5

- *Successton des opérations :*

Nous avons la suite d'opérations suivantes :

Et application de ces impulsions (les impulsions négatives seulement) au compteur, pour comptage pendant un temps déterminé.

Il sera possible de connaître par exemple le nombre de crêtes ayant dépassé x décibels pendant t minutes.

- Pour arriver à ce résultat, plusieurs systèmes ont été essayés que nous rappelons brièvement :

a) Polarisation opposée de la diode de redressement.

L'inconvénient est une dynamique assez réduite (32 dB) due à la saturation de l'amplificateur. Par ailleurs l'étalonnage du potentiomètre de réglage du

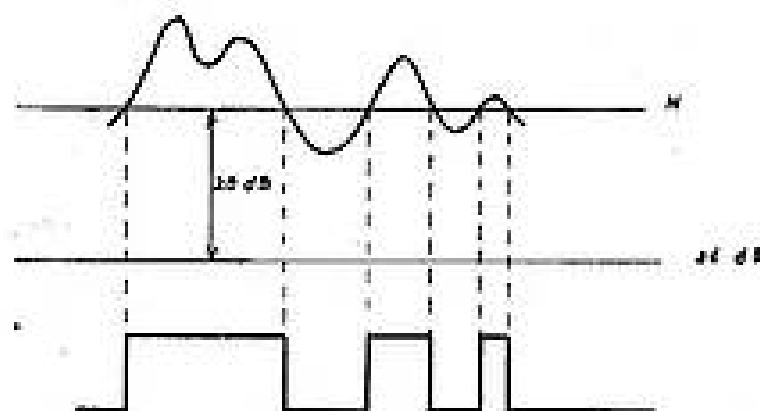


FIG. 6

Mesure d'irrégularité (premier exemple : Figures 7 à 15)

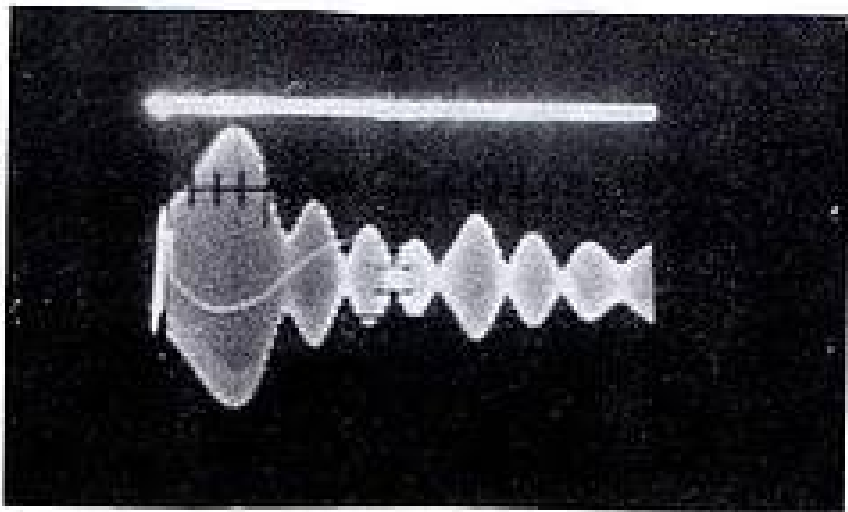


FIG. 7. — En bas le signal enregistré.
En haut, ce que l'on envoie au compteur. Le niveau de mesure est si bas que l'on ne rencontre aucun creux : le compteur compte zéro.

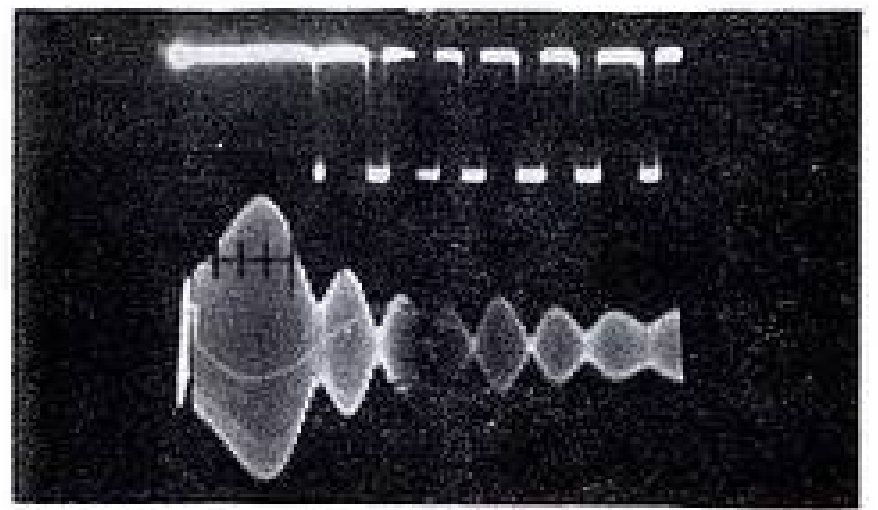


FIG. 8. — Idem, on augmente le niveau où l'on mesure : on rencontre toutes les irrégularités : les signaux rectangulaires d'en haut seront différenciés et envoyés au compteur.

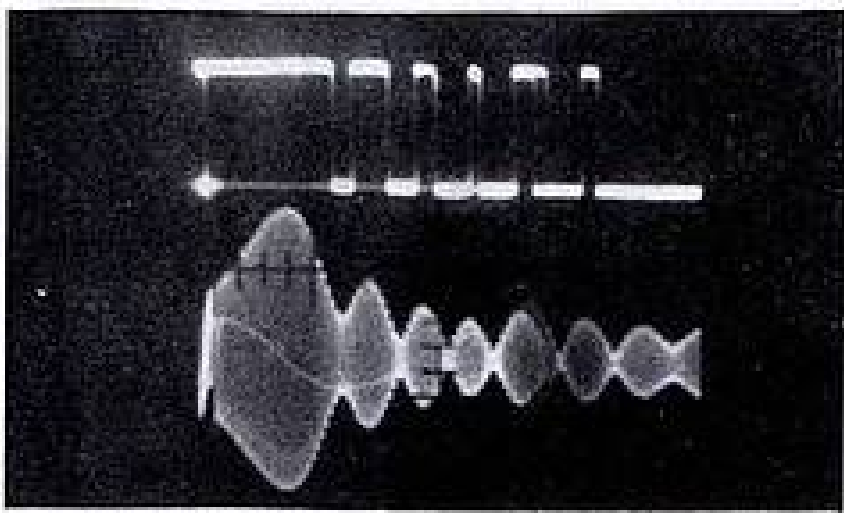


FIG. 9. — Idem, on augmente encore le niveau où on mesure : les crêtes les plus faibles ne sont plus enregistrées.

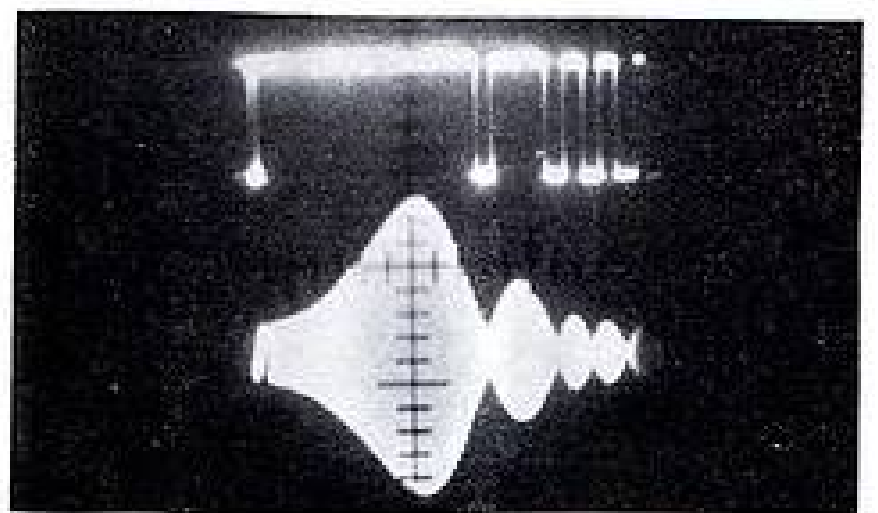


FIG. 10. — Idem, on augmente de nouveau le niveau de mesure : le nombre de crêtes transformées en signaux rectangulaires pour comptage ultérieur diminue.

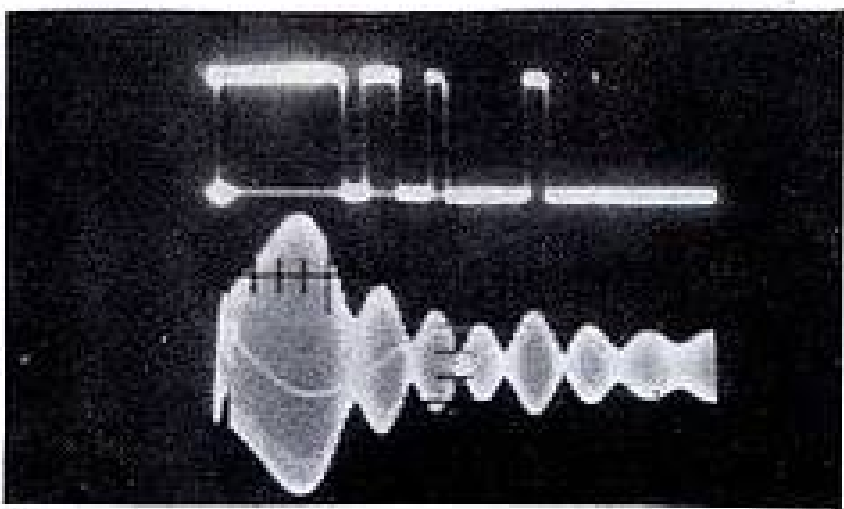


FIG. 11. — Idem, on a encore augmenté le niveau de mesure : on compte 4.

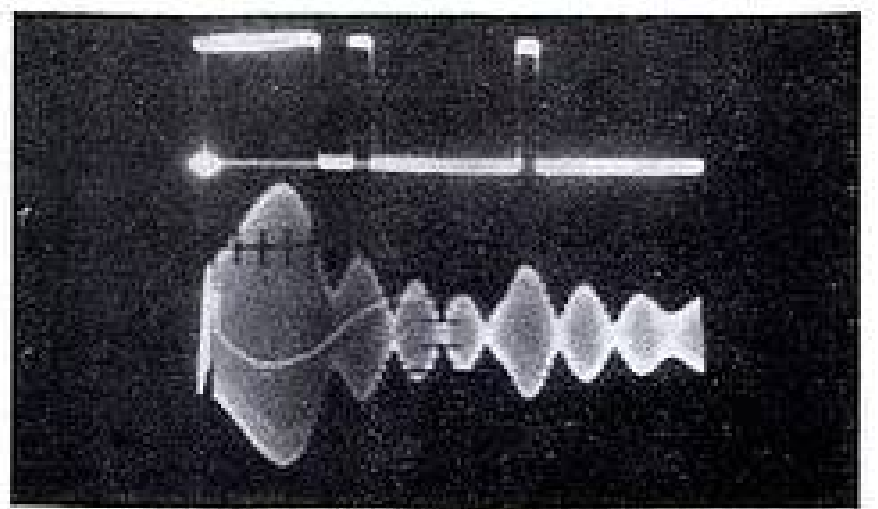


FIG. 12. — Idem : on ne compte plus que 3.

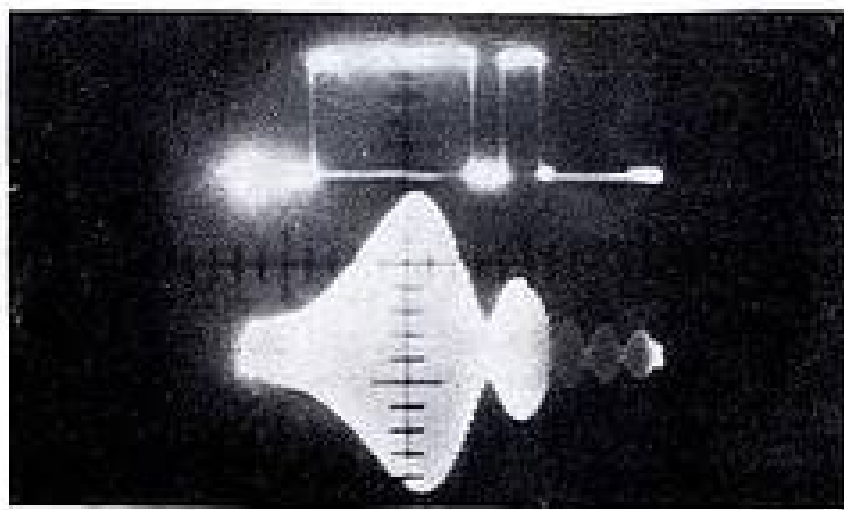


FIG. 13. — Toujours le même signal, on n'enregistre plus que les 2 crêtes supérieures.

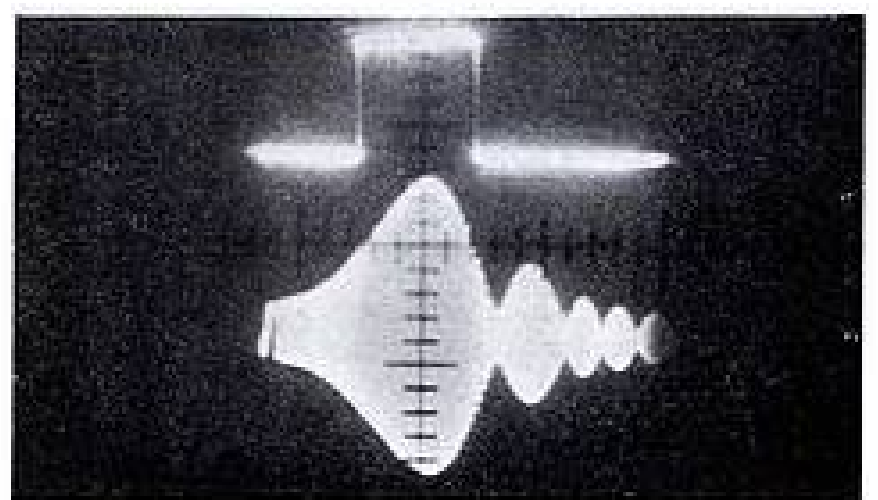


FIG. 14. — Idem, 1 seule « saillie » est transformée pour comptage.

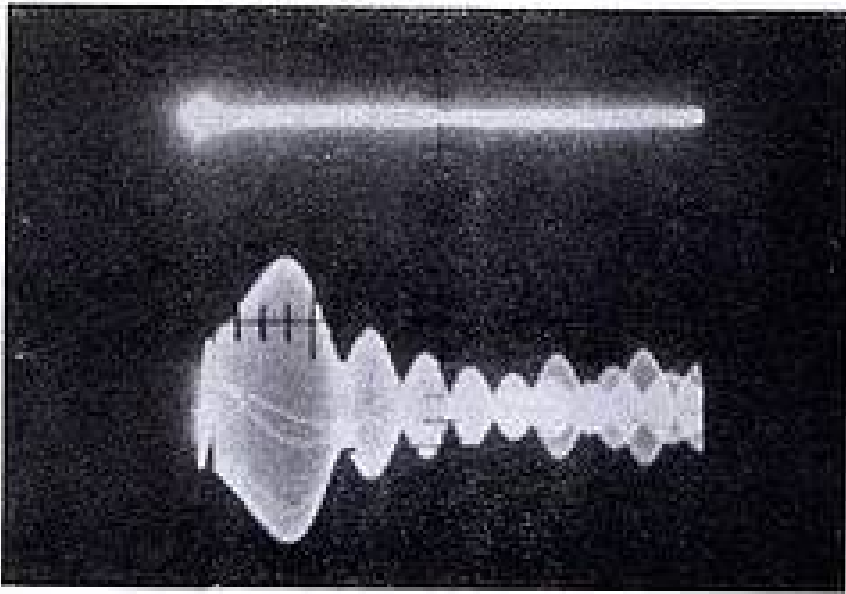


FIG. 15. — Le niveau au-dessus duquel on enregistre les saillies est trop élevé (il dépasse la 1^{re} crête, la plus haute) et le compteur compte zéro.

niveau est assez imprécis car la détection ne peut pas être considérée comme linéaire pour 32 dB.

b) Tension opposée sur la grille de la bascule.

Mêmes inconvénients que ci-dessus, avec en plus la distorsion (assez faible) de l'EL. 34.

c) Système retenu :

En l'absence de signal (pot. à zéro) on règle à l'aide d'un potentiomètre la tension grille de la 1^{re} bascule à 7 volts de manière à l'amener en position de repos (le tube d'entrée ne débite pas). Un tube néon signale cette position. Dans cette position, le compteur comptera pour un signal dépassant, à l'entrée 34 dB (niveau acoustique).

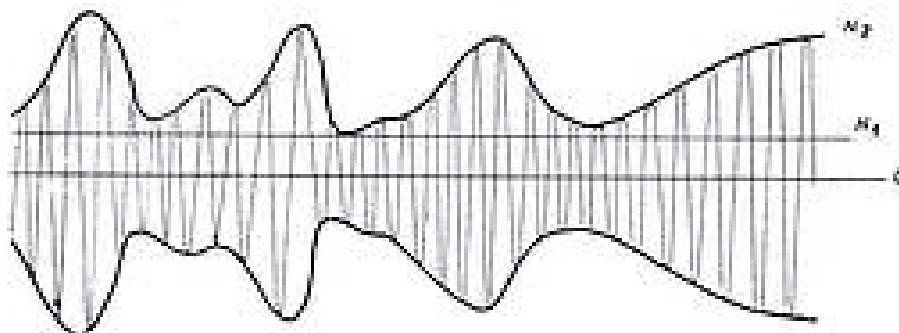


FIG. 17

La dynamique possible sera donnée par l'amplification maximum de l'amplificateur. Ampli à fond, nous avons 34 dB, niveau acoustique à l'entrée. Si le gain de l'ampli est de 100 dB, nous pouvons enregistrer des crêtes dépassant 134 dB.

Prenons le cas de la figure où nous cherchons le nombre de crêtes au-dessus de $34 + 20$, c'est-à-dire 54 décibels (acoustiques). Il y en a 3 et l'amplificateur capable d'un gain de 100 dB a ici un gain de 100-20, soit 80 décibels.

En faisant varier son gain on peut ainsi explorer le nombre de crêtes à différents niveaux et les compter.

— Prenons enfin pour fixer les idées le cas suivant : en nous réglant sur le niveau N_1 on ne compte rien en nous réglant sur le niveau N_2 on ne compte plus rien.

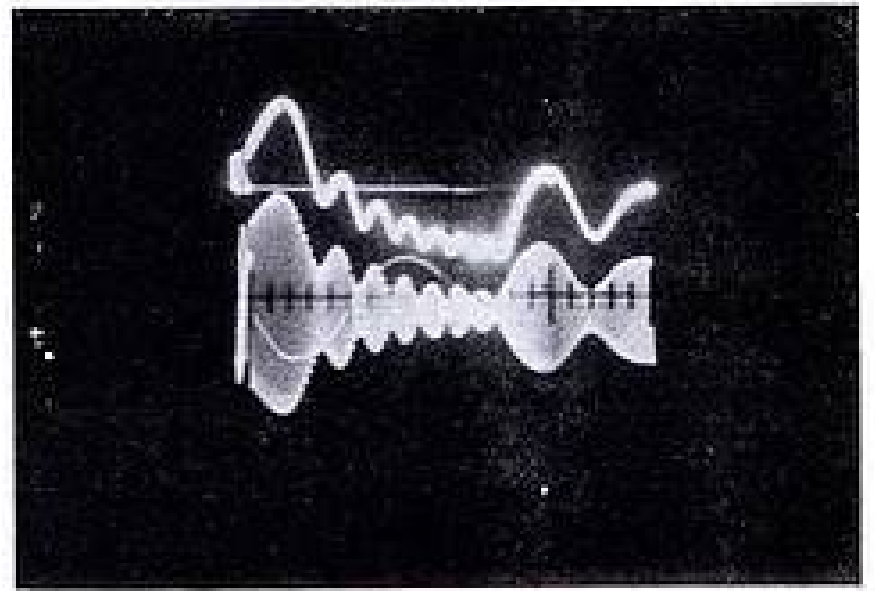


FIG. 16. — Détection et filtrage.
en bas : signal étudié
en haut : le même après détection et filtrage.

Mais nous pouvons à chaque niveau intermédiaire (de décibel en décibel si nous le désirons) compter les crêtes.

2^o — MESURES DES IRRÉGULARITÉS D'UNE DÉCROISSANCE

(Application à l'irrégularité de décroissance du niveau pendant un temps de réverbération).

Nous avons vu que l'on disposait d'un signal continu sur l'anode de l'EL34. Si on envoie cette information à la bascule réglée au maximum de sensibilité, elle va se déséquilibrer pour toute portion du signal supérieur à 34 dB ; on aura un signal rectangulaire d'amplitude constante de largeur correspondant au temps de décroissance. Nous avons ainsi transformé quelque chose de décroissant en quelque chose de constant.

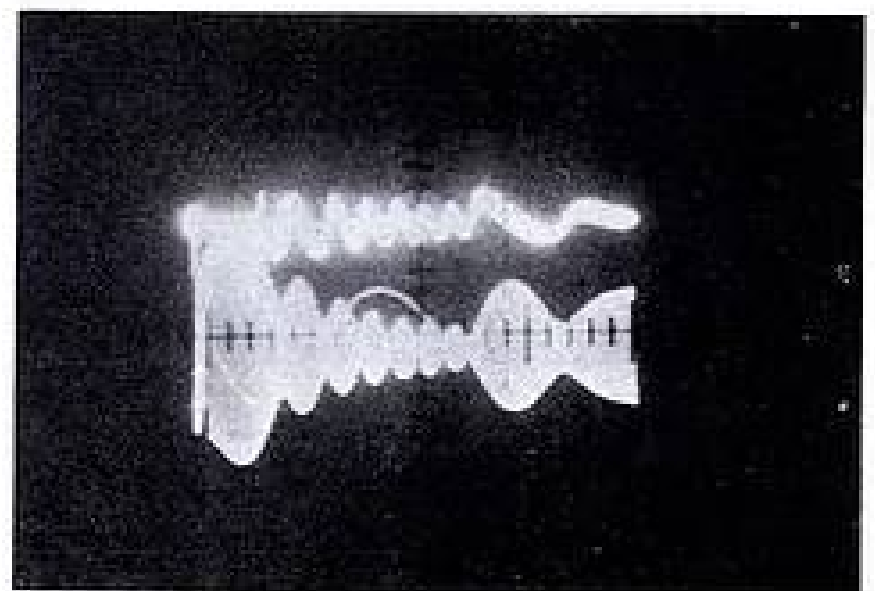


FIG. 18. — Irrégularités dans une décroissance.
en bas : signal étudié
en haut : le même détecté, filtré et rendu horizontal, ce qui nous ramène au cas des irrégularités simples.

Si on supprime la composante continue du signal sortant de l'EL. 34 nous aurons toutes les irrégularités autour de la décroissance axées sur une droite horizontale.

Nous sommes ramenés au problème n^o 1 de comptage des irrégularités et nous nous sommes affranchis de la décroissance exponentielle qui nous gênait.

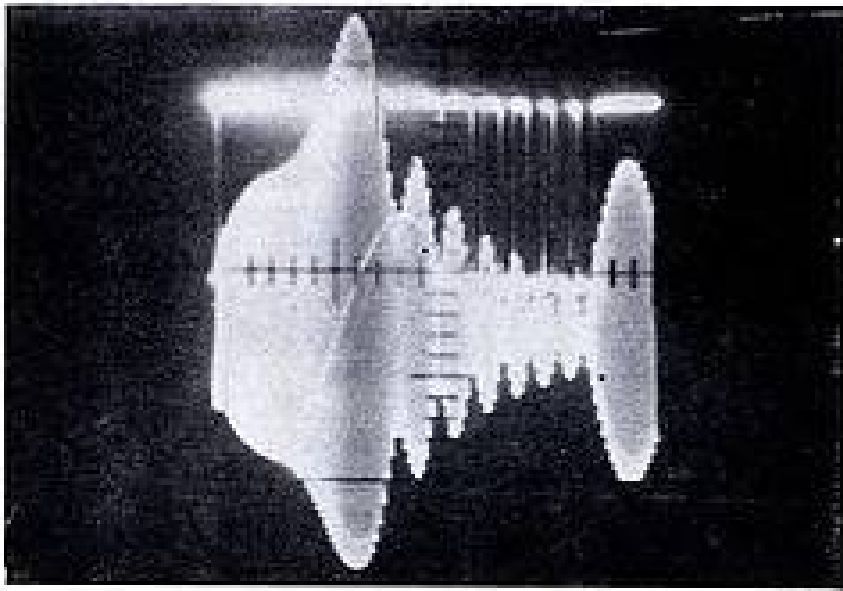


FIG. 19. — Le niveau de mesure est très faible.

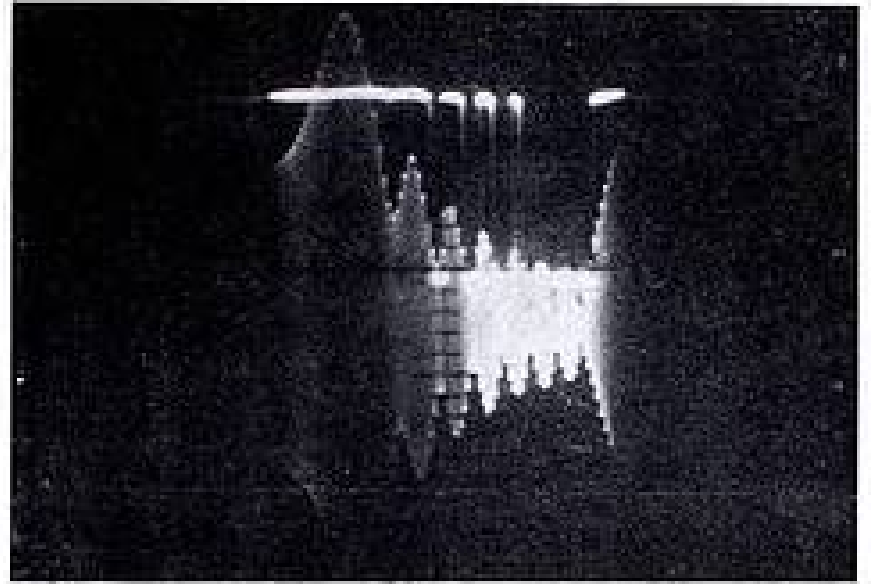


FIG. 20. — On augmente un peu le niveau.

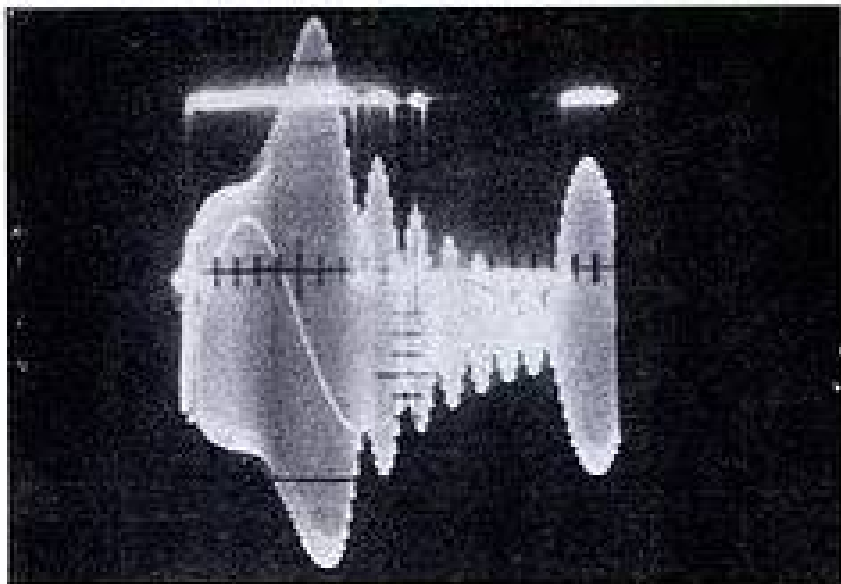


FIG. 21. — On augmente le niveau.

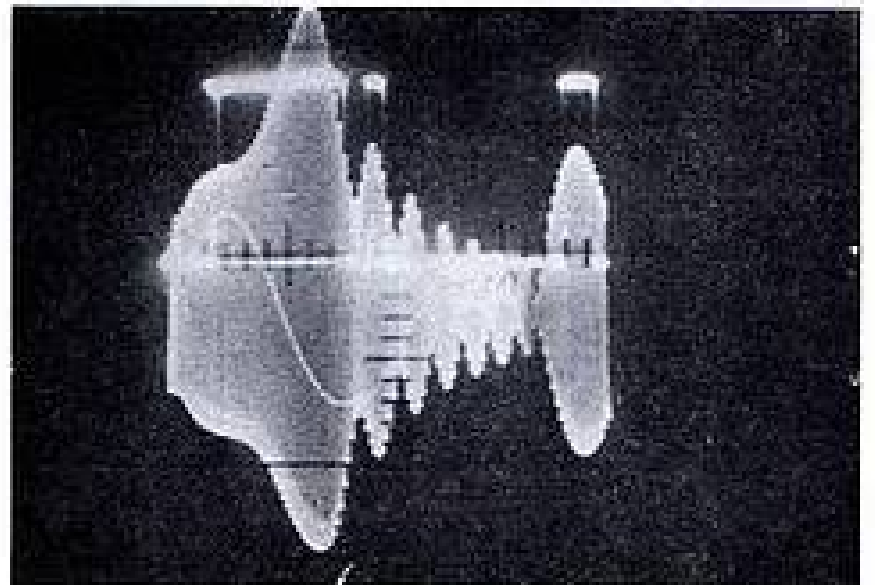


FIG. 22. — On augmente le niveau.

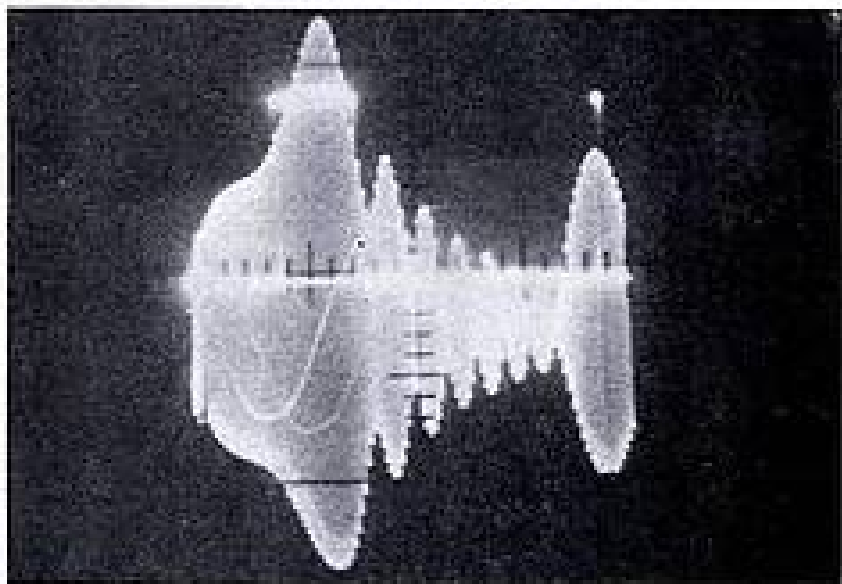


FIG. 23. — On ne compte plus que 2.

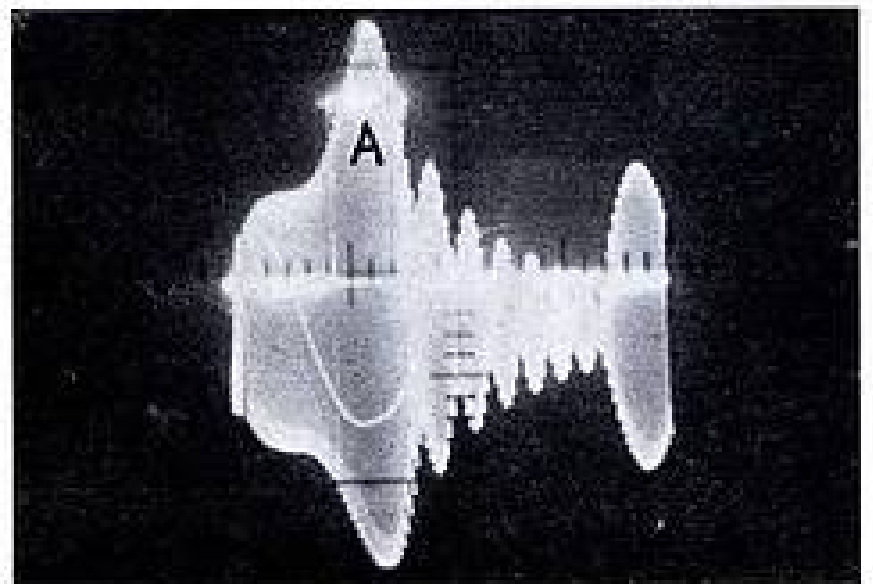


FIG. 24. — On ne compte plus que 1 (basse A).

Irregularités : 2^e exemple.

Comme dans les figures 7 à 15, on a pris un signal et on explore systématiquement des niveaux allant de zéro à une valeur supérieure à la crête la plus importante. Pour chaque niveau on voit sur les figures les signaux rectangulaires correspondants (que l'on a obtenus après détection et filtrage du signal d'origine) destinés à être différenciés et envoyés au compteur.

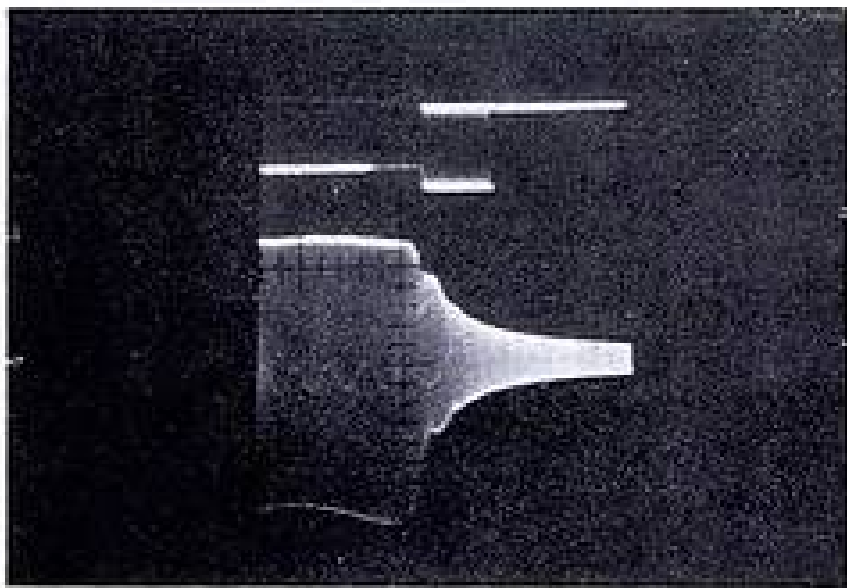


FIG. 25. — Temps de réverbération total.

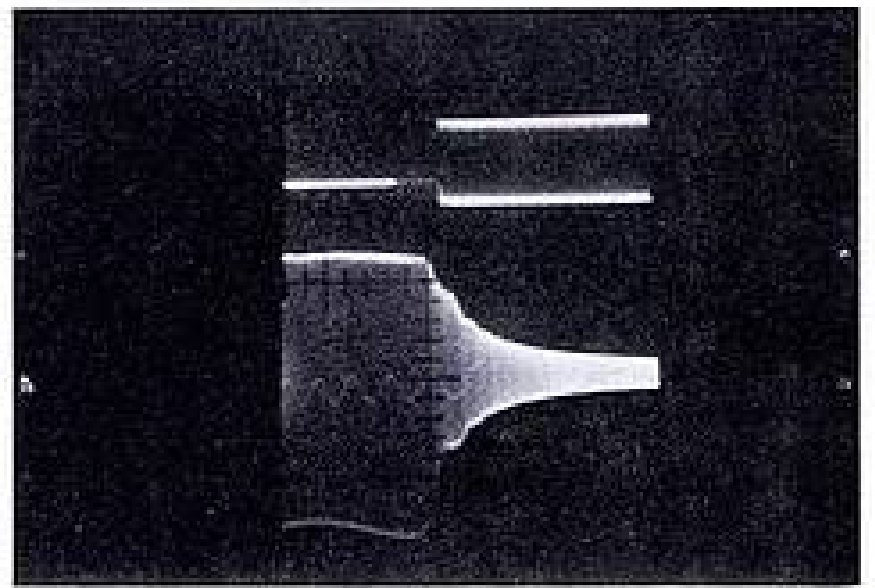


FIG. 26. — Temps de réverbération fractionné (début de décroissance).

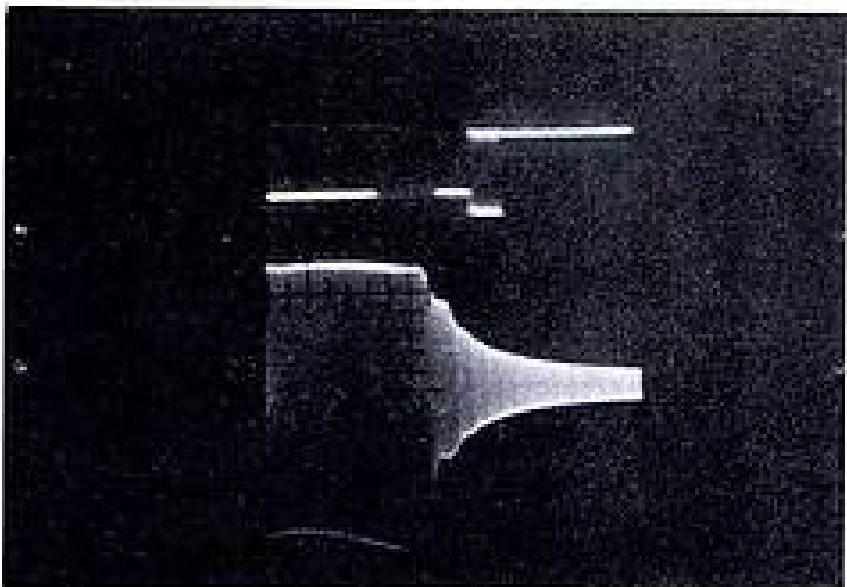


FIG. 27. — Temps de réverbération fractionné.

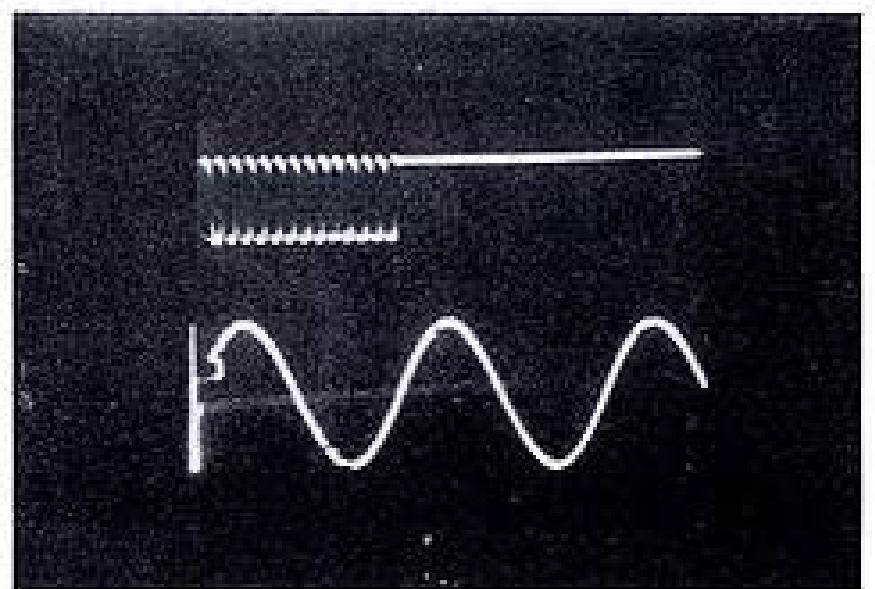


FIG. 28. — Mesure de la durée entre 2 impulsions. On voit sur la trace supérieure le déclenchement du 1 000 Hz pendant le temps à mesurer.

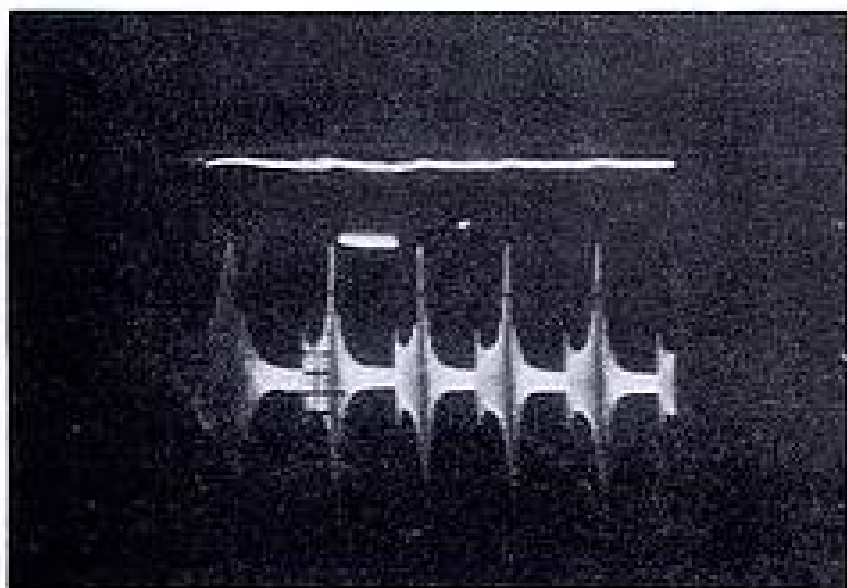


FIG. 29. — Idem : Mesure de la durée entre 2 impulsions.

Bien entendu, si nous voulons faire une étude complète de ces irrégularités, c'est-à-dire les compter pour un certain nombre d'amplitudes (comme on a fait pour le problème 1) il est nécessaire de reproduire plusieurs fois la décroissance, autant de fois que l'on a choisi de niveaux à explorer.

3° — MESURE D'UN TEMPS DE RÉVERBÉRATION

Nous venons de voir qu'il était possible de disposer d'un signal dont la largeur dépend uniquement du temps de décroissance.

L'anode de la bascule est à un potentiel variant en fonction du temps de décroissance et peut nous servir à bloquer ou débloquer un oscillateur à 1 000 c/s délivrant des signaux rectangulaires que l'on différencie et envoie au compteur proprement dit.

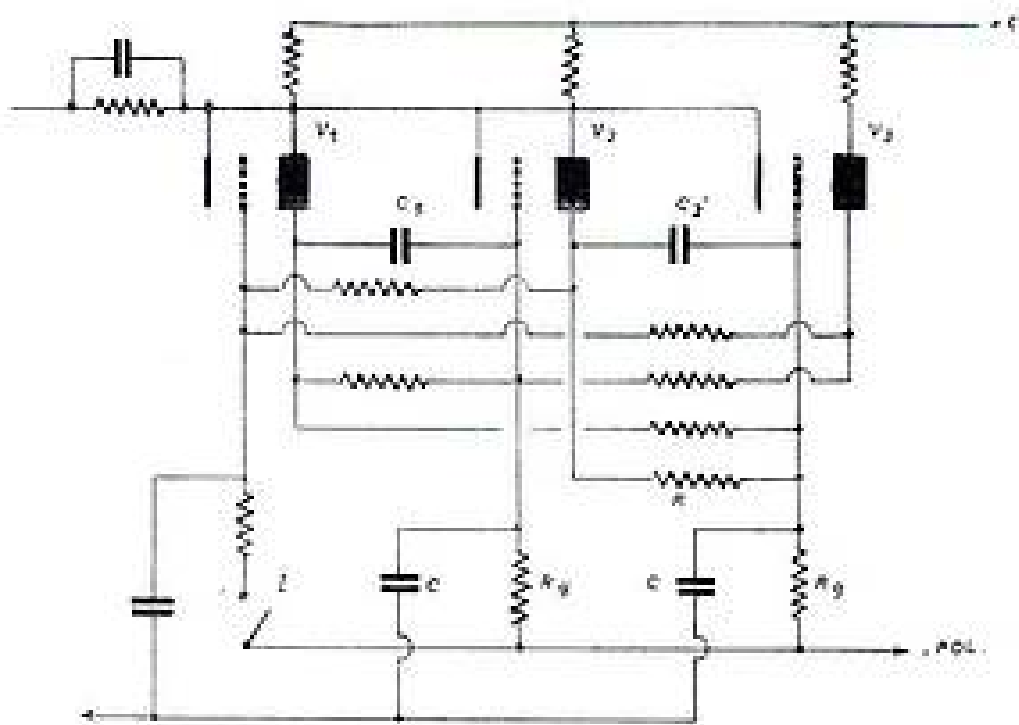


FIG. 30

Nous obtenons ainsi le T.R. par simple lecture du compteur, la limite supérieure du T.R. mesurable est alors de 9,99 secondes, limite rarement atteinte, même dans les grands volumes très réverbérants et aux fréquences basses.

4° - MESURE DE L'INTERVALLE DE TEMPS SÉPARANT 2 VARIATIONS SUCCESSIVES

Supposons les éléments réglés de telle sorte qu'un seul tube débitant bloque les 2 autres par les ponts formés des résistances R_p et R . Coupons un court instant l'interrupteur I , la grille de V_1 devient positive et le tube débite, bloquant V_2 et V_3 . Envoyons à l'entrée du système, par l'intermédiaire des capacités C un signal rectangulaire qui sera dérivé par ces mêmes condensateurs C . Pour une impulsion positive V_1 continuera à débiter puisque déjà sa grille est positive; V_2 et V_3 resteront bloqués par V_1 . Pour une impulsion négative, V_1 et V_3 sont déjà bloqués mais V_2 se débloquent pendant la durée de l'impulsion. V_2 en se bloquant envoie une impulsion positive à la grille de V_3 qui se débloquent et rend les grilles de V_1 et V_2 négatives. L'état du tube V_3 ne change pas, mais la tension négative sur V_1 accentue l'effet causé par l'impulsion négative de l'entrée.

Pour une seconde impulsion positive V_1 continue à débiter. La seconde impulsion négative fait tourner le cycle d'un pas.

Pour la troisième impulsion négative V_3 se débloquent pendant la durée de l'impulsion mais V_3 ne peut envoyer l'impulsion positive à V_1 ou V_2 . La grille de V_3 redevient positive, V_1 et V_2 étant bloqués imposent la polarité de V_3 .

Nous constatons que si on ne boucle pas le circuit, le cycle s'arrête sur le 3^e tube. V_3 est débloquent pendant la durée entre la 1^{re} impulsion négative et la seconde.

Si nous utilisons cette particularité pour asservir un oscillateur 1 000 Hz par l'intermédiaire de V_3 , nous pouvons compter et mesurer la durée de l'intervalle entre 2 impulsions successives (en millisecondes si on utilise un oscillateur à 1 000 Hz) par envoi au compteur du 1 000 Hz déclenché pendant ce temps à mesurer.

5° - MESURE DES ISOLEMENTS PHONIQUES

Nous venons de voir qu'il était possible de séparer les deux premières impulsions d'un train quelconque d'impulsions, et par suite de compter leur intervalle. Mais ces deux impulsions peuvent être :

a) la première, reçue par un microphone placé près du haut-parleur d'excitation dans la salle d'émission classique des mesures d'isolement phonique :

b) la deuxième, reçue par un microphone placé de l'autre côté de la cloison ou paroi quelconque à mesurer, dans la salle de réception habituelle des mesures d'isolement phonique.

Tout chemin autre que bc est obligatoirement plus long que bc , et le plus court chemin autre que bc entre la source sonore (haut-parleur) et un quelconque microphone (M_1 ou M_2) est ac . Les chemins cna (chemin acoustique passant par une ouverture possible) ou $cm a$ (après réflexion sur une paroi de la salle) sont plus longs.

Il résulte de ceci que la première impulsion correspond au niveau sonore dans la salle d'émission et la seconde au niveau sonore dans la salle de réception, de l'autre côté de la paroi à mesurer.

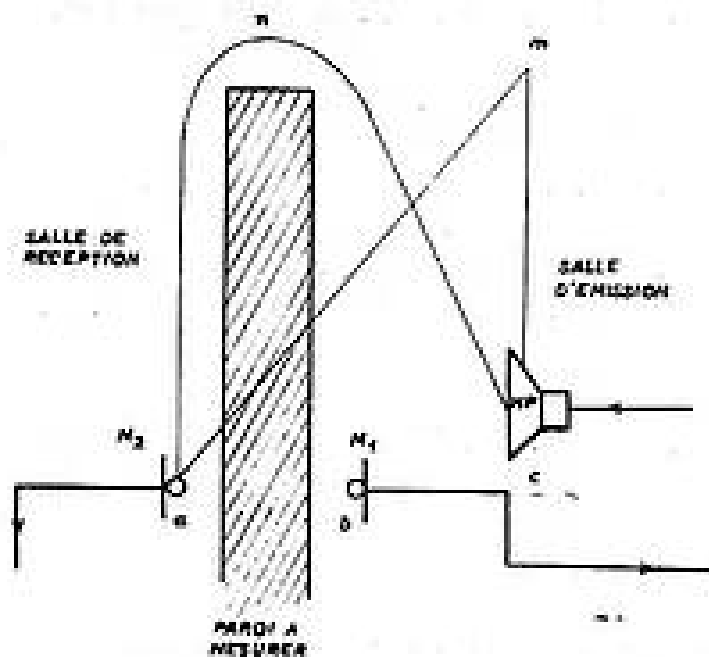


FIG. 31

Les autres chemins, c'est-à-dire les impulsions portant un numéro d'ordre supérieur à 2 sont stoppés par le dispositif de Lewis décrit dans (4) et il est alors aisé, à l'aide de l'amplificateur à niveau étalonné et réglable décrit plus haut de connaître la différence de niveau entre le signal recueilli par M_1 et celui qui est recueilli par M_2 . Cette différence n'est autre que l'isolement phonique cherché.

Cette méthode a l'avantage de permettre des mesures d'isolement de murs même entourés d'ouvertures, ou encore d'un panneau placé en champ libre avec rien autour. Le principe de la mesure a quelque parenté avec la méthode de M. Raes, l'avantage résidant en une grande précision de mesure, plus grande en fait que celle obtenue par les mesures classiques.

LA MESURE DES BRUITS

PROBLÈMES PHYSIQUES ET PROBLÈMES PHYSIOLOGIQUES

P. BARON

*Ingénieur à la Direction des Etudes et Recherches
de l'Electricité de France*

1. — Historique. — Position de la question.

On appréciait jadis — c'est-à-dire il y a une trentaine d'années — l'intensité des bruits par des méthodes assez sommaires, telle que celle qui consistait à éloigner progressivement de l'oreille un diapason et à déterminer la distance à laquelle le son qu'il produisait était masqué par le bruit. De même, pour analyser un bruit, on utilisait un tube résonnant dont on faisait varier la longueur.

Les mesures de bruit proprement dites sont apparues avec l'appareil de *Barkhausen*. Il comprenait un écouteur fournissant un son de fréquence donnée qu'on réglait en intensité jusqu'à ce qu'il paraisse aussi intense que le bruit.

Le principe de cette méthode a reçu une consécration officielle en 1937 lors de la conférence internationale d'acoustique au cours de laquelle il a été proposé d'évaluer les bruits en comparant leur force sonore — qu'on appelle maintenant sonie — à celle d'un son à 1 000 Hz, le résultat trouvé étant exprimé en *phones*. Le *phone* est défini de la façon suivante au projet de vocabulaire de l'AFNOR :

« On dit que le niveau d'isotonie d'un son ou d'un bruit est de N phones quand la sonie du son ou du bruit est jugée équivalente par un auditeur normal moyen à celle d'un son pur de 1 000 Hz se propageant par ondes planes face à l'auditeur et dont la pression acoustique est de N décibels au-dessus du niveau de référence de $2 \cdot 10^{-4}$ barye ».

Cette définition — qui recevra sans doute encore quelques raffinements — est très précise. Malheureusement les conditions de propagation prescrites peuvent difficilement être remplies, sauf lors d'essais ayant un caractère de recherche et l'appareil de *Barkhausen* lui-même ne donne pas exactement le niveau d'isotonie.

La comparaison d'un bruit à un son pur est par ailleurs une opération difficile, d'autant plus difficile — et aléatoire — que leur différence de tonalité s'accroît. Cela conduit à une mise en œuvre qui, dans le cas de la pratique industrielle, est absolument prohibitive.

La méthode de *Barkhausen* éliminée, on s'est retourné vers la *méthode de masque*, en déterminant l'élévation du seuil d'audibilité d'un son de fréquence donnée en présence du bruit. La détermination du seuil d'audibilité est assez aisée — beaucoup plus aisée que la recherche de l'isotonie — mais l'effet de masque dépend essentiellement de la différence de tonalité existant entre bruit et son de référence. C'est au point que, lors des études sérieuses, on faisait varier la fréquence du son de référence et traduisait les résultats sous la forme d'une courbe appelée *audiogramme du bruit*, courbe qui présentait une certaine analogie avec le spectre sonore.

La difficulté de caractériser le bruit par un chiffre unique a fait abandonner la méthode de masque mais on y revient maintenant d'une façon indirecte : l'effet de masque des bruits constitue en effet un critère très intéressant qu'on est parfois amené à préciser ; cela se fait par des méthodes de calcul basées sur l'analyse spectrale.

L'intérêt des *mesures objectives* est trop évident pour qu'il soit nécessaire d'y insister. Elles n'ont cependant de valeur que pour autant que leurs résultats soient en accord avec l'impression auditive, c'est-à-dire que si, comparant entre eux les bruits A et B, la différence entre les niveaux sonores indiqués par l'appareil correspond effectivement à la différence entre les niveaux d'isotonie.

Cette correspondance a été recherchée surtout en se référant à l'influence de la fréquence sur la sensibilité de l'oreille mais il existe d'autres facteurs qui ont au moins autant d'importance, telle la loi d'addition des composantes du bruit. Tout cela ne peut être suivi que d'une façon très médiocre par les appareils de mesure classiques, aussi la tendance est-elle d'analyser le bruit et d'en calculer ensuite d'une façon approximative le niveau d'isotonie par une recombinaison convenable.

Connaitrait-on exactement le niveau d'isotonie qu'on ne devrait d'ailleurs pas s'estimer satisfait. Si nous nous intéressons aux bruits, c'est en effet uniquement parce qu'ils nous gênent. Mais la difficulté réside dans la définition de cet *effet de gêne*.

Il se présente sous de multiples aspects, en général assez flous. Cependant, chaque fois qu'on a pu en préciser un, tel la surdité ou encore l'effet de masque sur les conversations, on s'est aperçu que le niveau d'isotonie ne suffisait pas à le caractériser et qu'il fallait se baser sur l'analyse spectrale.

Tout cela ne conduit pas à condamner les appareils de mesure objectifs du type classique mais à les utiliser avec une grande prudence.

Les problèmes qui se posent sont en fait de 2 types bien différents :

— la comparaison entre bruits qui, à cause de leur communauté d'origine, ont des caractères assez voisins. C'est le problème qu'on rencontre le plus couramment dans l'industrie, qu'il s'agisse d'établir un classement entre machines du même genre ou de préciser l'effet de certaines modifications constructives. Il y a alors un parallélisme assez bon entre les résultats de la mesure physique, le niveau d'isotonie et l'effet de gêne. La comparaison dont il s'agit doit être faite avec une grande précision — de l'ordre du décibel — car une réduction de quelques décibels nécessite parfois de sérieux efforts ; elle correspond d'ailleurs à une amélioration appréciable. Cela implique que les caractéristiques de l'appareil de mesure ainsi que les conditions d'essais soient rigoureusement définies. On voit ainsi apparaître l'utilité des réglementations, des codes d'essais, malgré leur caractère conventionnel.

— la comparaison entre bruits d'origine essentiellement différente, par exemple un bruit de fond et un bruit perturbateur, pour définir le degré d'audibilité de ce dernier. Une telle comparaison implique une analyse spectrale, l'interprétation de ses résultats, qui comporte d'ailleurs une certaine élasticité, ne peut être faite que par des personnes compétentes et en précisant bien le critère auquel on se réfère.

On pourrait y ajouter un troisième problème : l'établissement de barèmes généraux de bruits. Ce qui vient d'être dit montre qu'il ne présente qu'un intérêt limité : à quoi sert d'établir des barèmes dont on ne peut rien tirer de sérieux ?

Toutes ces questions ont fait l'objet de nombreuses études et il existe d'excellentes mises au point, tel le « Handbook of Noise Measurement » de Peterson et Beranek (1). On vient d'ailleurs de faire paraître aux Etats-Unis, sous les auspices de l'« Acoustical Society of America », un périodique « Noise Control » où tous les problèmes de mesure sont traités.

En ce qui concerne les appareils, il existe des équipements sérieux permettant de résoudre les divers problèmes qui se posent.

2. — Aspects physiques de la mesure des bruits.

On a l'habitude de caractériser les bruits par le niveau de leur *pression acoustique*. Cela provient du

fait que les microphones usuels — qui suivent d'ailleurs en cela l'oreille — sont sensibles aux variations de pression de l'onde sonore. Cette façon de faire permet de caractériser des ambiances sonores, non des sources.

2-1. — DÉFINITION DES SOURCES SONORES.

Une source sonore est définie par la *puissance qu'elle rayonne*. Partant de là, et éventuellement des caractéristiques de directivité, il est possible de calculer le niveau de pression à une distance donnée dans un milieu de caractéristiques acoustiques connues.

Si la source a un rayonnement uniforme et est placée dans un espace homogène, indéfini, sans absorption, on a à des distances suffisamment grandes par rapport à ses dimensions :

$$p^2 = \rho c I = \rho c \frac{W}{4\pi r^2}$$

W : puissance de la source ;

I : intensité à la distance r ;

p : pression à la distance r ;

ρc : impédance acoustique du milieu. (ρ : densité, c : vitesse de propagation du son).

La propagation est dite en *ondes progressives*.

Lorsque le rayonnement n'est pas uniforme, on définit dans chaque direction un coefficient de directivité Q par le rapport entre l'intensité relevée dans cette direction et sa valeur moyenne sur la sphère de rayon r :

$$p^2 = \rho c \frac{W}{4\pi r^2} Q$$

Un tel régime de propagation ne se rencontre que dans l'air calme ou en chambre sourde.

Dans les locaux ordinaires, la réverbération entraîne une augmentation générale du niveau sonore, augmentation qui peut devenir telle que le régime soit uniforme dans l'espace (chambre réverbérante). On a dans ce dernier cas :

$$p^2 = \frac{4W}{R} \rho c$$

R est la surface d'absorption équivalente du local, définie par la relation :

$$R = \sum \alpha S$$

α étant le coefficient d'absorption de chaque élément de surface s .

(1) Edité par General Radio.

R est évidemment lié à la durée de réverbération T et au volume V par :

$$T = \frac{0,16 V}{\sum \alpha S}$$

V en m^3 S en m^2 T en s

Dans le cas général, on obtient un régime intermédiaire entre les 2 précédents ; la pression a alors pour valeur :

$$p^2 = \rho c \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) W \quad (1)$$

Cette relation est fondamentale. Elle permet de calculer la pression acoustique en un point quelconque d'un local donné, connaissant la puissance de la source et ses caractéristiques de directivité.

Il est logique d'adopter pour les puissances — comme pour les pressions et les intensités — une échelle logarithmique. Aux Etats-Unis, on a choisi un niveau 0 correspondant à 10^{-12} Watt (1).

(1) Ce niveau correspond à la puissance transportée par un son de $2 \cdot 10^{-4}$ barye traversant normalement une surface de 1 pied carré dans les conditions usuelles de température et de pression ($20^\circ C$, 760 mm de mercure).

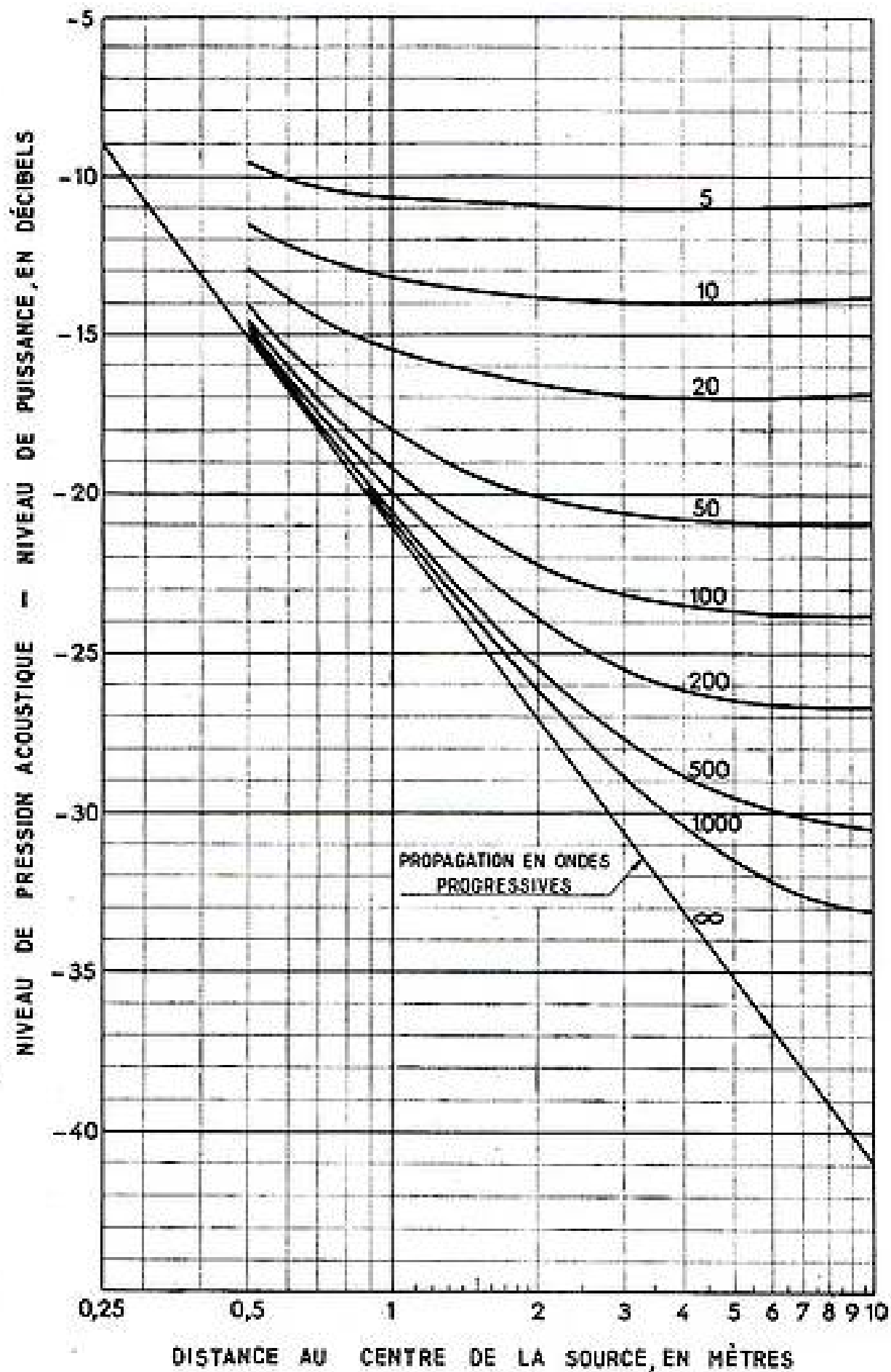


FIG. 1. — Propagation du son dans un local.
Cas d'une source à rayonnement uniforme.
Le chiffre porté sur chaque courbe correspond à l'aire d'absorption équivalente du local (R) en m^2 .
Le niveau de puissance est une constante dépendant de la source.

La formule 1, traduite en :

niveau de pression : dB au-dessus de $2 \cdot 10^{-4}$ barye
niveau de puissance : dB au-dessus de 10^{-12} Watt

donne alors en adoptant comme unité de longueur le mètre et en prenant pour ρc la valeur correspondant aux conditions usuelles de température et pression ($\rho c = 40,7$) :

$$\text{Niv. de pression} - \text{Niv. de puissance} = 10 \log \left(\frac{Q}{4 \pi r^2} + \frac{4}{R} \right) - 10 \quad (2)$$

La formule 2 est traduite sous forme de courbes à la fig. 1 pour $Q = 1$. Elles permettent de déterminer à chaque distance l'augmentation de niveau de la pression produite par la présence du local (comparer au résultat obtenu en ondes progressives).

De même on trouverait par exemple qu'une machine ayant un niveau de puissance de 110 dB (10^{-2} Watt) et rayonnant d'une façon uniforme donne à 2 m de distance dans un local pour lequel $R = 100 \text{ m}^2$ un niveau de pression de 88 dB.

2-2. — DÉTERMINATION DE LA PUISSANCE ACOUSTIQUE.

Cette détermination se fait :

— soit en chambre sourde (le 2^e terme de la formule 1 disparaît).

On découpe la sphère en éléments de surface s où la pression a une valeur p :

$$W = \rho c \sum p^2 s$$

Cette méthode permet aussi de déterminer les caractéristiques de directivité :

— soit en chambre réverbérante (le 1^{er} terme de la formule 1 disparaît).

Le régime sonore devenant uniforme dans l'espace, on obtiendrait la puissance par une mesure en un seul point. En fait, la diffusion est d'autant moins complète que l'énergie sonore est limitée à une bande de fréquence étroite et la valeur moyenne de cette fréquence basse.

— soit dans une salle ordinaire (suffisamment grande vis-à-vis des dimensions de la source).

L'étalonnage de la salle se fait en utilisant une source préalablement étalonnée en chambre sourde ou en calculant R (d'après une mesure de la durée de réverbération par exemple). Nous préférons adopter une autre méthode : elle consiste à prendre une source de petites dimensions et à spectre sensiblement uniforme ; cette source est mise à la place

des machines à étudier et l'on détermine la moyenne quadratique de la pression sur des surfaces sphériques de rayons croissants ; la loi de propagation ainsi obtenue est comparée à la propagation en

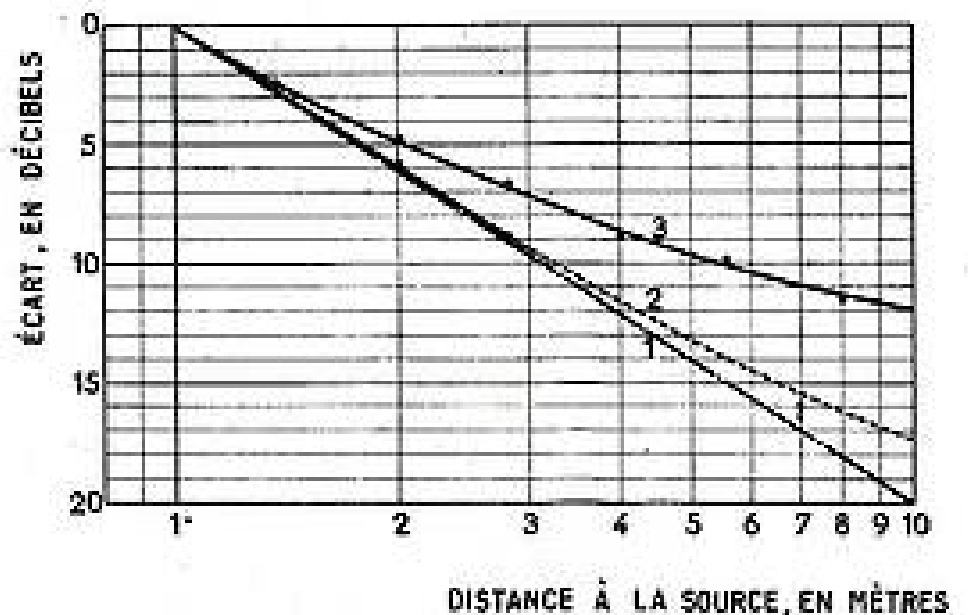


FIG. 2. — Etalonnage du local servant à la détermination de la puissance acoustique.

- 1 - Loi correspondant à la propagation en ondes progressives.
- 2 - Relation trouvée dans un local de très grandes dimensions.
- 3 - Relation trouvée dans un local de dimensions plus faibles.

ondes progressives, d'où la correction à la distance de mesure adoptée. La détermination de la moyenne quadratique de la pression se fait très commodément au moyen d'un dispositif intégrateur (1).

2-3. — DÉTERMINATION DU NIVEAU MOYEN DE LA PUISSANCE ACOUSTIQUE AUTOUR D'UNE MACHINE.

La détermination de la puissance nécessite des dégagements importants autour des machines, ce qui présente souvent des difficultés.

On préfère alors faire des mesures à leur voisinage immédiat - suffisamment près pour ne pas être influencé par les réflexions du local - et déterminer la valeur moyenne des niveaux sonores relevés en un certain nombre de points régulièrement répartis autour d'elles.

Une telle méthode est acceptable tant qu'il ne s'agit que de comparer entre elles des machines qui, par suite de la similitude de leurs spécifications, ont des encombrements et des caractéristiques de directivité du même genre car la différence entre les résultats ainsi trouvés correspondra sensiblement à celle des niveaux de puissance. Ce cas se présente en fait très fréquemment.

Il ne faudrait cependant pas oublier qu'un tel renseignement n'a aucune signification en lui-même et qu'il ne permet pas de comparer entre elles une petite machine à une grosse, une machine à rayonnement uniforme à une autre à rayonnement très directif. Si par exemple on trouvait le même niveau

(1) Cf. Baron *Bulletin S.F.E.*, 7^e série, tome 6 - Février 1956.

de pression à 30 cm de la cuve de transformateurs de 1 000 et de 100 000 kVA, le niveau de puissance – et donc le niveau de pression à grande distance – serait d'une dizaine de dB plus élevé pour l'appareil de 100 000 kVA.

2-1. — NATURE DES SPECTRES SONORES.

Les spectres sonores présentent des aspects très variés :

- a) un son pur ;
- b) un certain nombre de sons purs constituant une série harmonique ;

c) un certain nombre de sons purs ne constituant pas une série harmonique ;

d) une suite continue de sons, l'amplitude de chacun d'eux pouvant par ailleurs varier d'une façon désordonnée ;

e) une combinaison de d) avec les formes précédentes.

Dans les cas c) à e), on ne peut définir que des valeurs moyennes, en considérant des intervalles de temps suffisamment grands par rapport à celui des fluctuations.

Dans la pratique industrielle, tous ces cas se présentent.

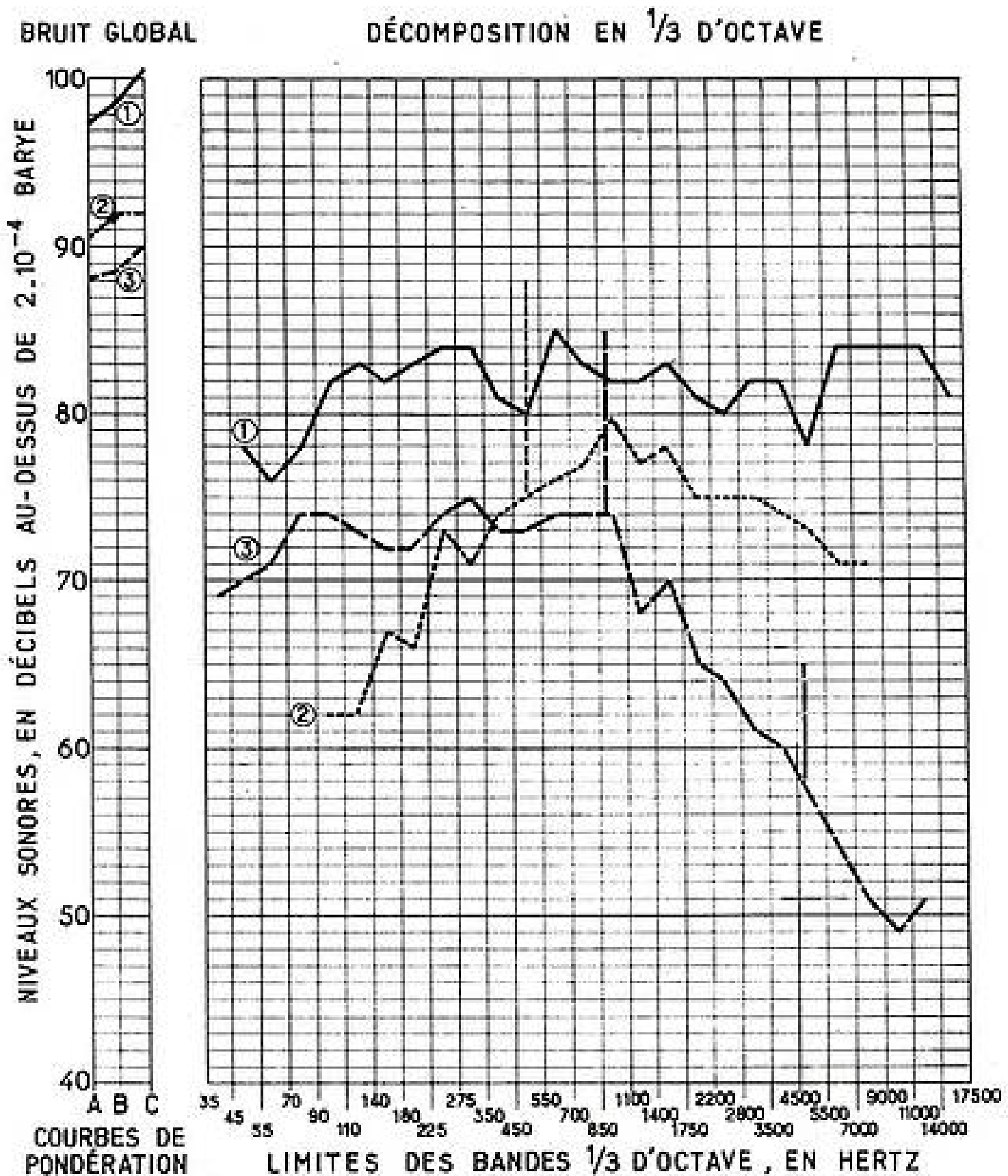


FIG. 3. — Spectres de moteurs électriques asynchrones.

- 1 - Moteur protégé 500 CV, 3 000 t/min.
- 2 - Moteur ouvert 100 CV, 1 500 t/min.
- 3 - Moteur fermé 700 CV, 420 t/min.

Les traits verticaux correspondent à des sons purs :

Spectre 2 : son pur dû au ventilateur (fréquence = vitesse \times nombre de pales).

Spectre 3 : sons purs d'origine magnétique (un essai à tension réduite les a fait disparaître).

Un transformateur de puissance par exemple donne le spectre *b*, avec souvent prédominance marquée du fondamental (100 Hz pour une alimentation à 50 Hz).

Un moteur asynchrone donne le spectre du type *c* : une série harmonique multiple de la fréquence (bruits magnétiques) et une série harmonique multiple de la vitesse (bruits mécaniques ou aérodynamiques). Il s'y superpose souvent un spectre du type *d* produit par la turbulence de l'air et qui peut même masquer les sons purs.

2-5. — APPAREILS OBJECTIFS DE MESURE DE BRUITS.

2-5-1. — Leurs caractéristiques.

Les caractéristiques des appareils objectifs de mesure de bruits ont été réglementées aux Etats-Unis, d'abord à titre d'essai en 1936 puis officiellement et sans modification en 1944. (1) Cette réglementation est en cours de révision mais sur des questions de détail et dans le sens d'un resserrement des tolérances.

Une autre réglementation a été établie en Allemagne (2), elle est pratiquement la même que la réglementation U.S.A. et n'en diffère que sur un point : celui de la terminologie, mais ce point est capital.

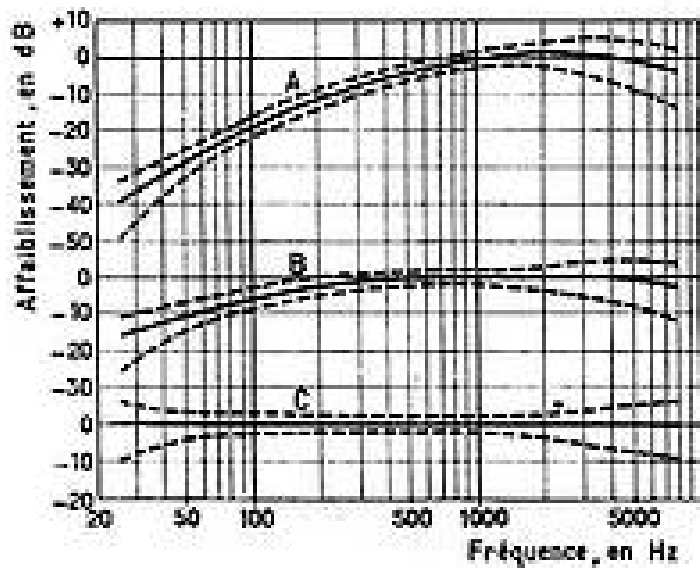


FIG. 4. — Courbes de réponse des appareils de mesure de bruits, d'après la réglementation U.S.A.

— courbes
- - - - - tolérances

L'appareil U.S.A. est dénommé « Sound Level Meter » « Appareil de mesure du niveau sonore ». Il y est prévu 3 courbes de réponse en fonction de la fréquence : l'une C horizontale, deux autres - B et A - qui affaiblissent progressivement les sons graves, le choix de la courbe étant laissé à l'appréciation de l'utilisateur. Dans tous les cas la graduation est faite en *décibels*.

(1) Sound Level Meters for Measurement of Noise and other Sounds - A.S.A. Z 24/3 - 1944.

(2) Messgerät für DIN Lautstärken - Richtlinien - DIN 5045 - 1942.

L'appareil allemand est dénommé « D.I.N. Lautstärke Messer » « Appareil de mesure de la sonie, suivant les normes DIN ». Il y est prévu également 3 courbes de réponse ; deux d'entre elles sont pratiquement les mêmes que B et A, une 3^e affaiblit davantage les sons graves. Elles ont chacune une zone d'utilisation bien définie - plus le niveau baisse, plus les sons graves sont affaiblis - quant à la graduation, elle est en *phones*. Certains constructeurs ont été plus loin ; ils font dépendre la courbe utilisée de la position de l'atténuateur, laquelle est forcément fonction du niveau. L'appareil comporte alors un commutateur qui permet d'utiliser soit :

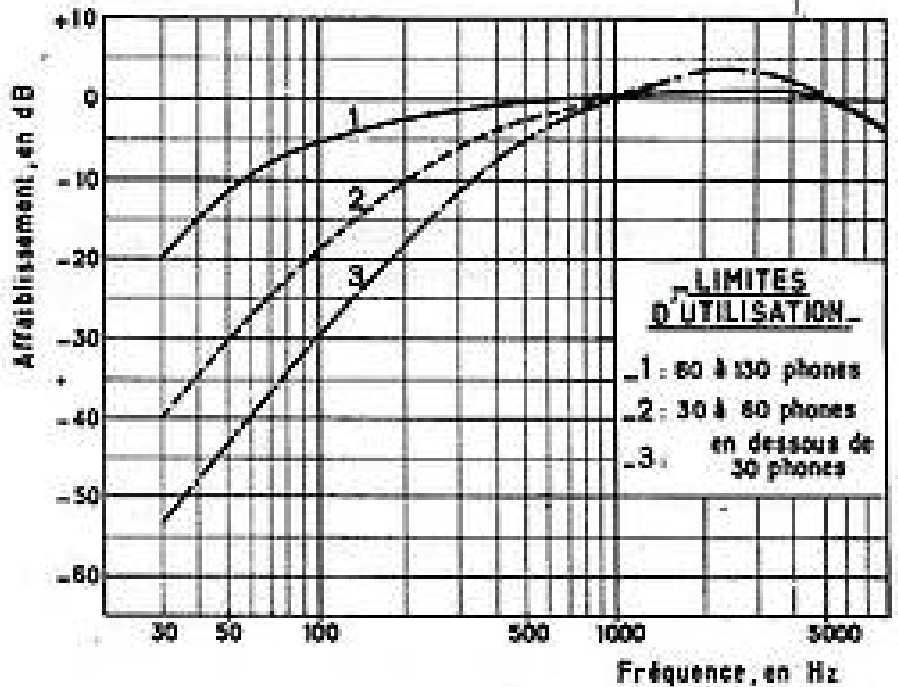


FIG. 5. — Courbes de réponse des appareils de mesure de bruits, d'après la réglementation allemande.

Les tolérances sont sensiblement les mêmes que dans la réglementation U.S.A.

- une courbe de réponse horizontale, position repérée « décibels ».
- la courbe réglementée, position repérée « phones ».

L'utilisateur non informé est ainsi fondé à croire qu'il suffit de manœuvrer le commutateur pour transformer la mesure physique en une mesure physiologique, ce qui est une grave erreur.

2-5-2. — Leurs éléments constitutifs.

Les appareils objectifs comportent :

- un microphone ;
- un amplificateur ;
- un atténuateur ;
- des réseaux filtrants ;
- un appareil indicateur.

a) *Le microphone.* — Le microphone est de beaucoup l'élément le plus délicat de l'équipement. Ceux qu'on utilise ont généralement été conçus pour l'enregistrement sonore et, malgré les exigences qu'on manifeste dans ce domaine, il est bien évident qu'elles



FIG. 6. — Appareil de mesure de bruits de poche. Constructeur : General Radio.

ne peuvent égaler celles qu'on requiert d'un appareil de mesure. Le microphone doit être fidèle, linéaire,

avoir une sensibilité indépendante de la fréquence et de l'angle d'incidence des sons ; il doit aussi être suffisamment robuste, ne pas être influencé par des phénomènes parasites tels que le champ magnétique. Il faut se montrer d'autant plus exigeant pour le microphone que son étalonnage ne peut être fait que dans des laboratoires spécialisés et encore la concordance entre les résultats des divers laboratoires est-elle loin d'être satisfaisante.

Les difficultés se produisent surtout aux fréquences élevées, lorsque la longueur d'onde devient de l'ordre

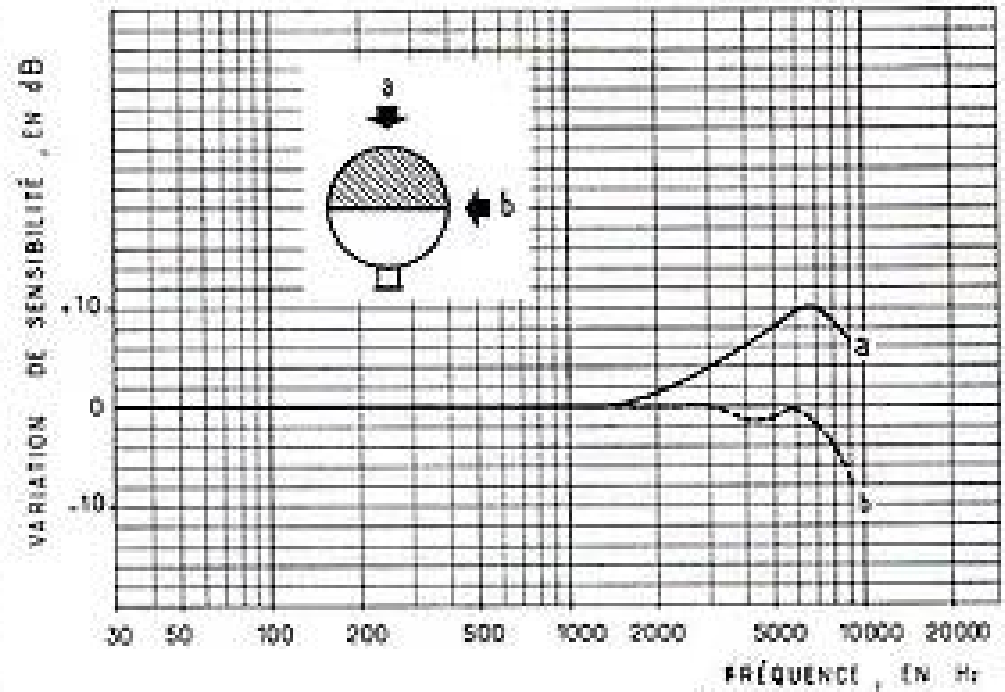


FIG. 7. — Courbe de réponse d'un microphone piezo-électrique courant.

des dimensions du microphone. La fig. 7 donne ainsi — d'après le constructeur lui-même — les caractéris-

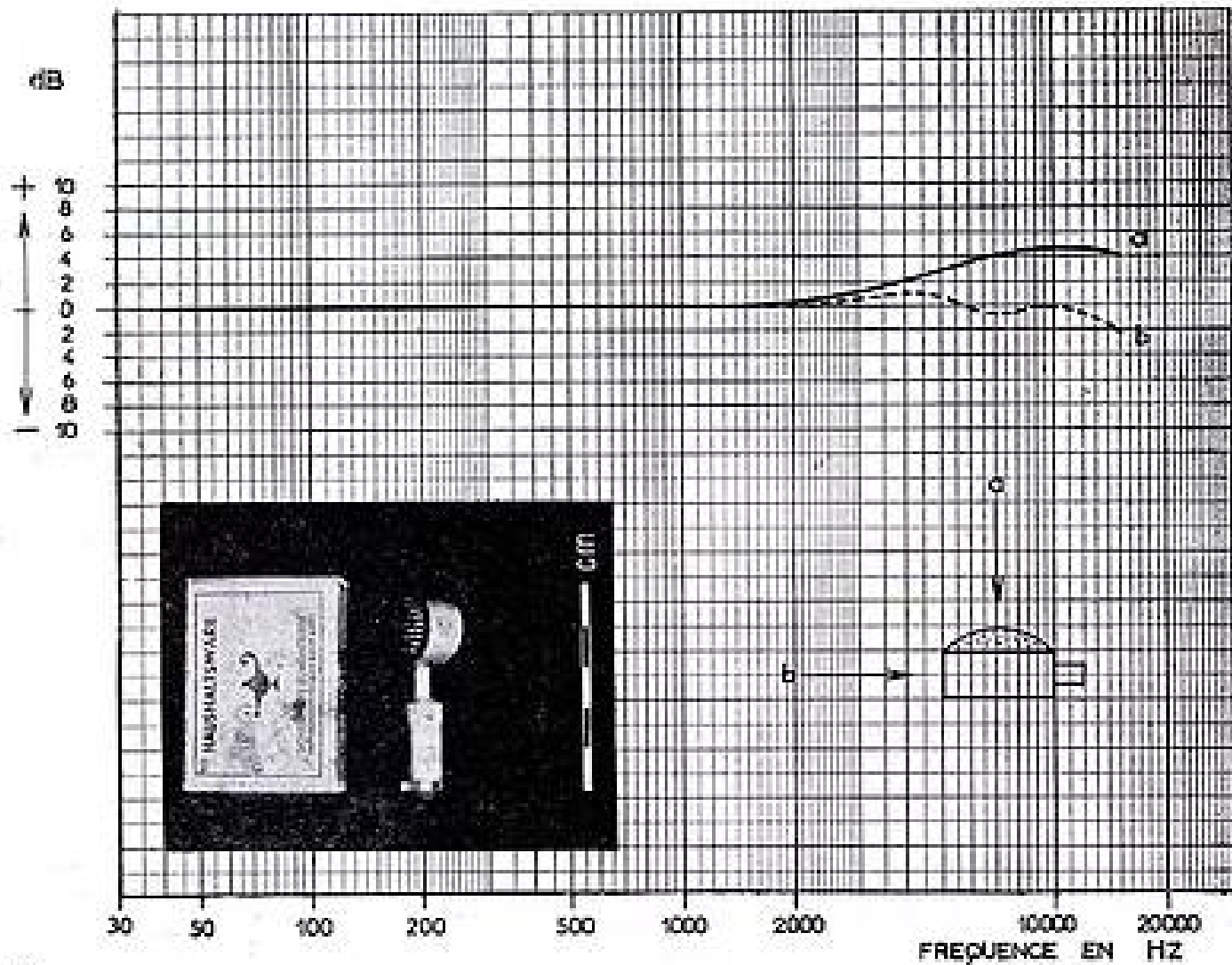


FIG. 8. — Courbe de réponse du microphone à condensateur omnidirectionnel Saepeps CM 51-9.

tiques du microphone piézo-électrique équipant normalement les appareils de mesure Général Radio (1). L'existence de l'effet de directivité - qui est parfois plus prononcé et se produit à des fréquences plus basses que dans la fig. 7 - rend par ailleurs délicat l'étalonnage des microphones.

Dans les cas usuels, les fréquences moyennes ou basses dominant, en sorte que les indications des divers appareils concordent généralement assez bien mais il arrive que l'énergie soit concentrée aux fréquences élevées (turbo-réacteurs par exemple).

exemple). En raison de leur haute impédance, on les monte sur un préamplificateur, ce qui permet d'utiliser ensuite des câbles de longueur quelconque.

Lorsque le microphone doit être placé dans le vent, on l'entoure d'une enveloppe en tissu mince ou en toile grillagée pour en réduire l'effet.

Pour certaines applications, il y a intérêt à utiliser un microphone unidirectionnel. Cela permet par exemple de reconnaître la provenance d'un son déterminé ou encore d'éliminer des bruits parasites. Il

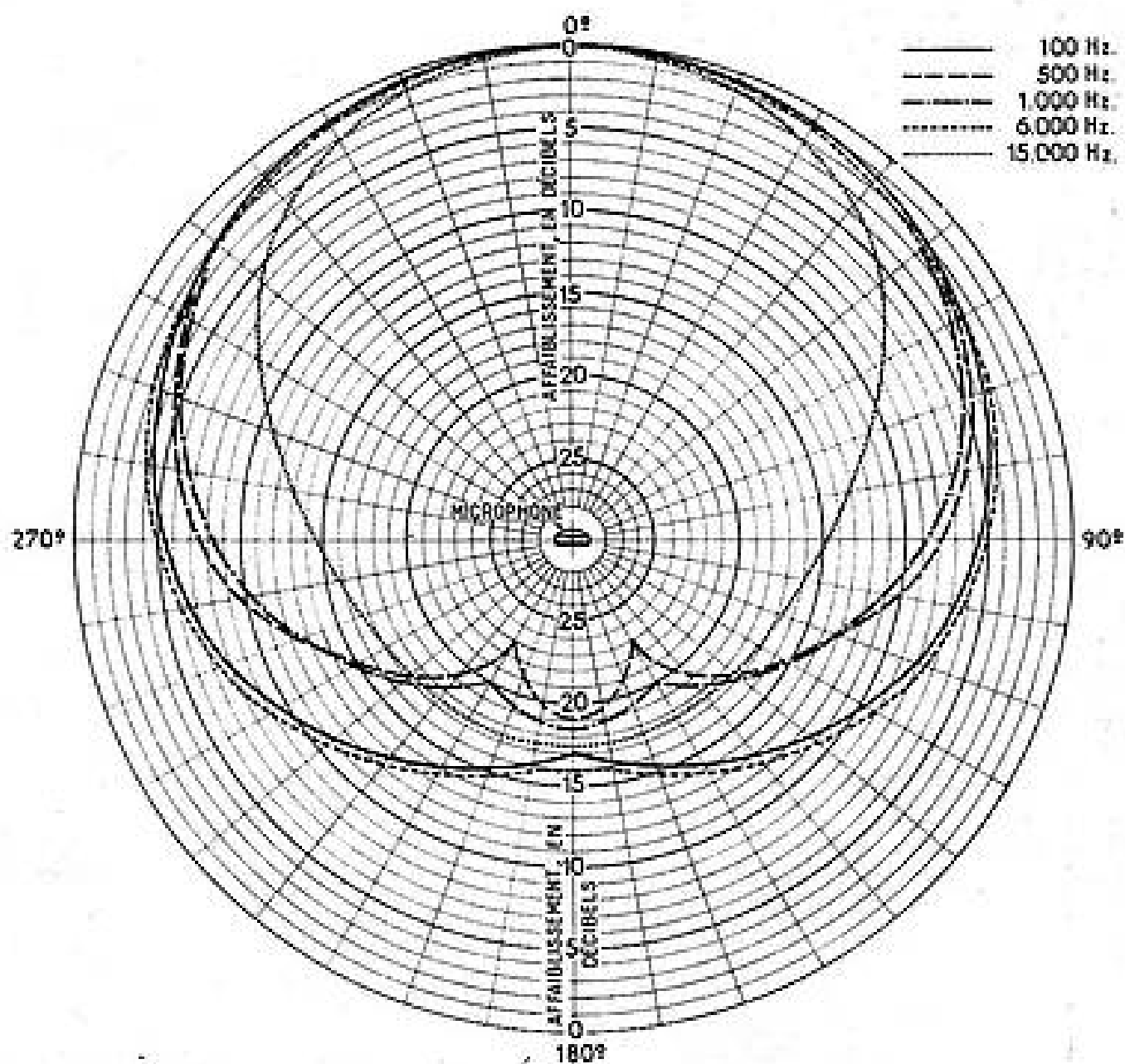


FIG. 9. — Courbes de directivité du microphone à condensateur cardiïde Schoeps OM 51-N.

Les microphones sont soit :

- du type piézo-électrique. En raison de leur haute impédance, ils ne peuvent être éloignés de l'appareil de mesure ou alors il faut faire une correction, fonction de la température ;

- du type électrodynamique. Ils peuvent être raccordés à un câble de longueur quelconque mais sont influencés par les champs magnétiques ;

- du type électrostatique. De beaucoup les plus précis et les plus robustes. On en construit de très petites dimensions dont la sensibilité est indépendante de la fréquence ainsi que de l'angle d'incidence jusqu'à des fréquences élevées (8 000 Hz par

exemple) existe des microphones cardiïdes qui répondent à ce but.

b) Réseaux filtrants. — Ainsi qu'il a été dit, la réglementation U.S.A. en laisse le choix à l'utilisateur tandis que la réglementation allemande l'impose.

On peut faire à ce sujet les remarques suivantes :

- lorsqu'il s'agit de mesures physiques, par exemple quand on procède à une analyse, il y a généralement intérêt à avoir une sensibilité indépendante de la fréquence ;

- pour les déterminations d'ordre physiologique, il est logique d'affaiblir les fréquences graves d'autant plus fort que le bruit est faible. Les prescriptions allemandes semblent à ce point de vue raisonnables mais il serait préférable de leur enlever leur caractère impératif. Il arrive ainsi que, pour des raisons

(1) Il est prévu d'autres microphones, tel un microphone électrostatique dont la courbe de réponse est analogue à celle de la fig. 8.

de commodité, l'on caractérise une machine par le bruit qu'elle produit à son voisinage immédiat mais que la gêne se manifeste à distance (chez les riverains par exemple) ; il est alors logique d'affaiblir les sons graves comme s'il s'agissait de bruits faibles. Le code d'essais établi aux U.S.A. pour la mesure du bruit des transformateurs prescrit pour cette raison l'utilisation de la courbe A malgré que les niveaux puissent être de l'ordre de 85 dB ;

- toujours pour les déterminations d'ordre physiologique, la courbe C semble peu indiquée car l'oreille est toujours moins sensible aux sons de basse fréquence, même aux niveaux élevés (cf. 3-1) ;

- un résultat de mesure de bruits sans indication de la courbe de réponse utilisée n'a aucune valeur, surtout lorsque les composantes basse fréquence dominent ;

- en comparant les résultats obtenus avec les diverses courbes, on obtient immédiatement une idée de la tonalité du bruit, renseignement qui peut être très intéressant ;

- les réglementations prévoient des tolérances très larges, adaptées aux performances des microphones. L'apparition des microphones électrosta-

tiques de petites dimensions devrait permettre de les réduire, ce qui serait souhaitable.

c) *Appareil indicateur.* — Ses caractéristiques dynamiques ont été fixées : même déviation pour un son de durée 0,2 s que pour un son permanent, affaiblissement d'au moins 1 dB quand la durée descend à 0,1 s.

La plupart des bruits industriels subissent des fluctuations telles que l'aiguille est très instable ; pour y pallier certains constructeurs prévoient une position à grande constante de temps.

2-5-3. — Dispositifs d'étalonnage.

Les appareils de mesure comportent un dispositif de tarage de l'amplificateur. Quant au microphone, il est indispensable de pouvoir en vérifier la stabilité et cela sur place.

L'un des constructeurs — General Radio — construit un « calibrator », petit haut-parleur dont on coiffe le microphone et auquel on envoie un signal de fréquence et tension constantes. Un autre constructeur — SIEMENS — fait un étalonnage purement mécanique au moyen de billes tombant sur une plaque métallique. De tels dispositifs s'avèrent très utiles. Ils ne dispensent d'ailleurs pas de vérifications périodiques plus complètes en laboratoire et permettent surtout de déceler des anomalies.

2-5-4. — Quelques précautions à prendre.

Il convient de s'assurer que le signal recueilli correspond bien à la pression acoustique agissant sur la membrane du microphone et ne provient pas d'un phénomène parasite, tel que la transmission mécanique de vibrations au microphone (on l'évite par une suspension élastique), une action microphonique sur l'amplificateur (réduite en soustrayant l'amplificateur au bruit) ou l'induction électrique.

Il faut aussi s'assurer que le bruit qu'on mesure est bien celui auquel on s'intéresse.

Ces vérifications peuvent se faire comme suit :

a) action sur la membrane du microphone — On remplace le microphone par un élément ayant la même impédance électrique ou on l'entoure d'un écran procurant un affaiblissement acoustique connu — au moins 10 dB — ;

b) bruits parasites. — Au moment de la mesure, on écoute le signal à la sortie de l'amplificateur ou l'observe sur un cathodique.

Par ailleurs, il faut toujours vérifier que le bruit de fond ne perturbe pas la mesure, donc reprendre les essais en arrêtant la source de bruit ; des corrections seront éventuellement appliquées.

Il ne faudrait pas oublier non plus que toute étude de bruit, aussi savante soit-elle, ne dispense pas d'une écoute directe. Cette écoute, accompagnée au besoin d'une auscultation de la source, doit en fait précéder puis guider l'étude quantitative.

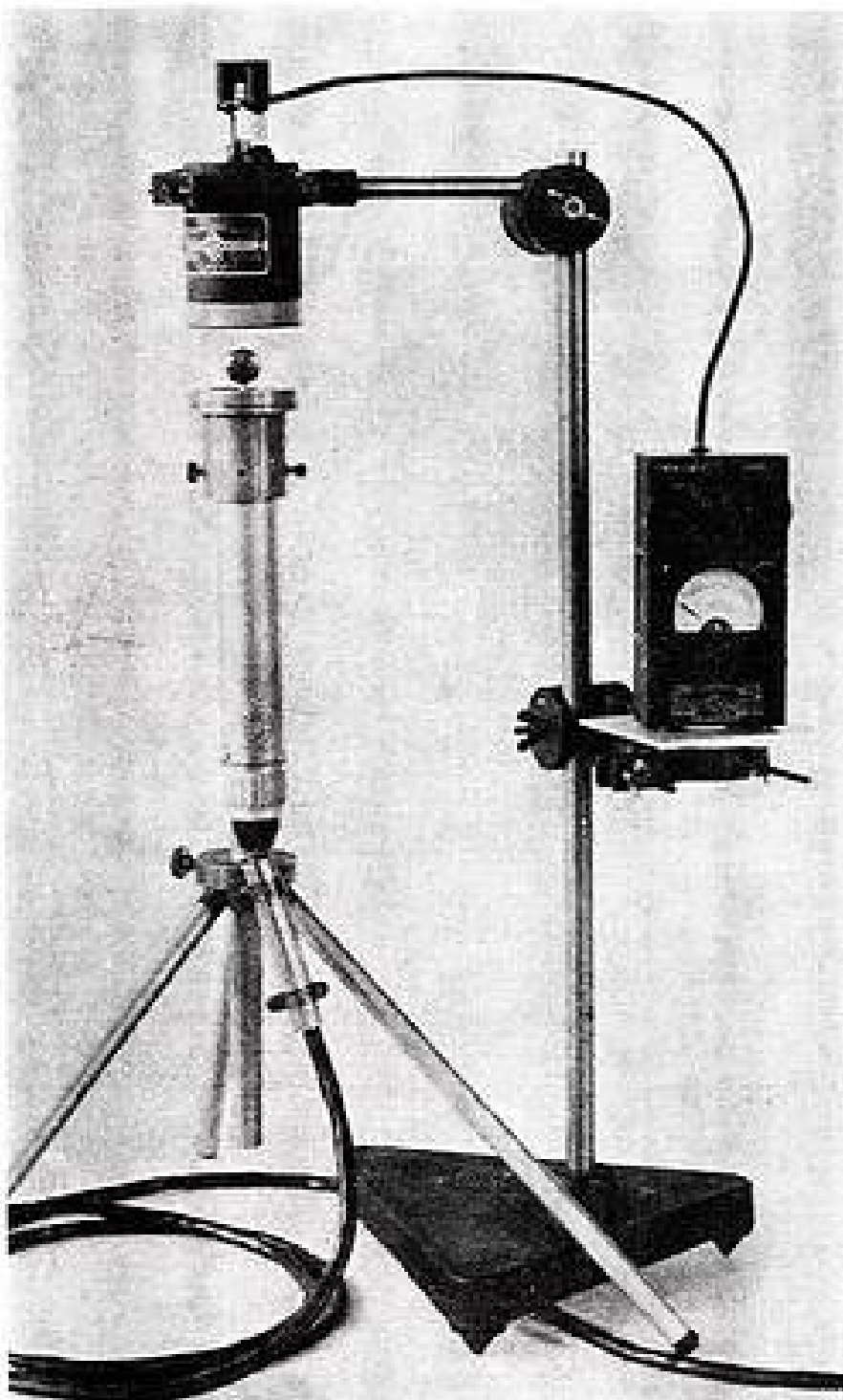


FIG. 10. — Calibrateur General Radio avec son oscillateur de poche.
En dessous : microphone Schoeps placé dans une chambre de volume déterminé qui sera fermée par le calibrateur.

2-6. — APPAREILS D'ANALYSE DES BRUITS.

L'analyse des bruits permet :

- d'en reconnaître l'origine des composantes principales ;
- d'éliminer les bruits autres que celui auquel on s'intéresse, qu'ils proviennent ou non de la source considérée ;
- d'étudier rationnellement l'effet de certaines dispositions prises en vue de réduire le bruit, effet qui généralement varie beaucoup avec la fréquence ;
- de déterminer les effets physiologiques du bruit.

Les appareils de mesure de bruit courants sont prévus pour être associés à des analyseurs. On en trouve actuellement de divers modèles, qu'on peut caractériser par la largeur de la bande passante.

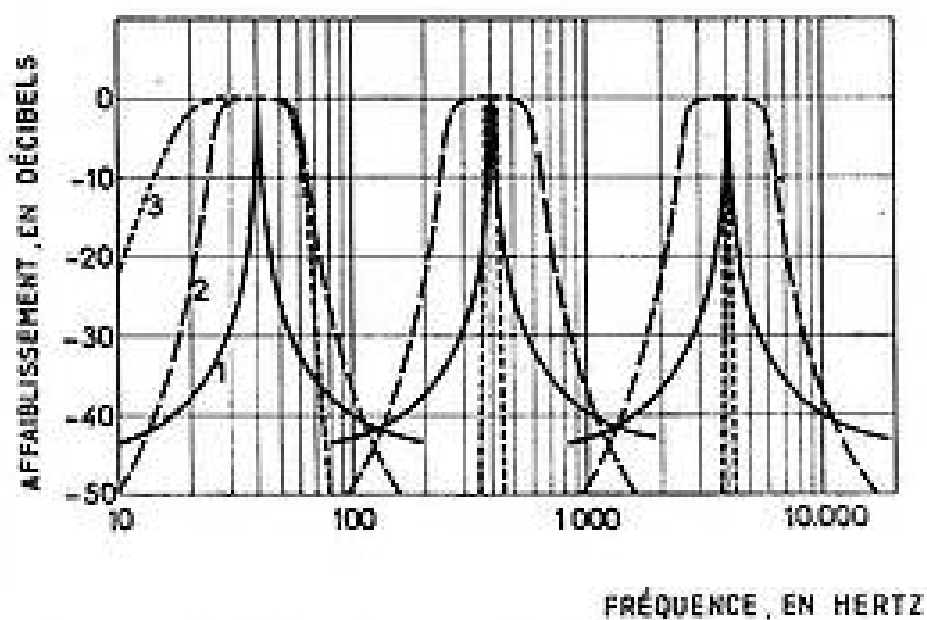


FIG. 11. — Sélectivité des différents types d'analyseur.

- 1 - Analyseur à bande passante étroite.
- 2 - Analyseur à bande passante large : 1 octave.
- 3 - Analyseur dont la sélectivité s'accroît proportionnellement à la fréquence : méthode de la fréquence chercheuse.

Quand la bande passante est étroite, on fait pratiquement une analyse en sons purs.

Une telle analyse est généralement très laborieuse du fait que la fréquence manque souvent de stabilité et que cette instabilité de fréquence entraîne de plus une instabilité d'amplitude provenant soit de la source elle-même (résonances) soit du local (déplacement du régime d'ondes stationnaires). La recherche est facilitée si l'on dispose d'une sélectivité variable, ce qui est souvent prévu.

Les analyseurs courants à bande passante large comportent des filtres d'octave — très utilisés aux U.S.A. — de demi-octave et de tiers d'octave. Le choix doit être fonction de la nature du bruit ainsi que de la nature du problème : l'analyse en tiers d'octave est plus indiquée quand, dans l'intervalle d'une octave les propriétés — physiques ou physiologiques — du bruit varient nettement mais elle demande 3 fois plus de temps que l'analyse en octaves, qui est par contre généralement satisfaisante lorsqu'on a affaire à des spectres assez plats. Il faut cependant bien se

rendre compte que, plus la largeur de la bande augmente, plus le spectre aura tendance à paraître plat.

Afin de présenter les résultats d'une façon uniforme, quelle que soit la largeur de bande, certains auteurs proposent de les exprimer en dB/Hz. Si par exemple on obtenait 80 dB entre 100 et 200 Hz — ou 77 dB entre 100 et 150 — cela ferait 60 dB/Hz. On admet cependant ainsi implicitement que le spectre est uniforme à l'intérieur de la bande passante, ce qu'on ignore absolument. Il nous paraît plus sage d'en rester aux résultats bruts.

Vu sous l'aspect physiologique, l'analyse en tiers d'octave paraît la plus satisfaisante car la largeur de la bande passante n'est pas trop différente de celle de la bande critique (cf. 4-3). Nous nous servons couramment de tels analyseurs ; lorsque le spectre fait apparaître une pointe marquée, nous voyons avec un analyseur à bande étroite s'il s'agit d'un son pur et en précisons éventuellement fréquence et niveau. Les résultats sont alors représentés sous la forme de la courbe de la fig. 3 : le trait vertical signifie qu'il s'agit d'un son pur.

D'autres appareils, basés sur le principe de la fréquence chercheuse, laissent passer un intervalle de fréquences constant en valeur absolue ; leur sélectivité est très faible aux basses fréquences et considérable aux fréquences élevées. De tels appareils se prêtent aisément à l'enregistrement automatique.

Notons enfin qu'une première analyse grossière résulte de la comparaison des résultats obtenus avec les courbes de réponse de l'appareil de mesure de bruits. Cela permet de déterminer la tonalité du bruit, de voir jusqu'à quel point elle est la même pour les divers bruits auxquels on s'intéresse. On peut aussi déceler de la sorte des anomalies ; par exemple si, pour un transformateur de puissance dont le son fondamental est à 100 Hz, la différence entre les résultats obtenus avec les courbes C et A de l'appareil U.S.A. est faible, cela signifie que les harmoniques ont trop d'importance et l'on en cherchera l'origine.

2-7. — CAS DES BRUITS VARIABLES. — DISPOSITIFS D'ENREGISTREMENT.

Certains bruits subissent des variations ou sont de durée telle qu'il faut les enregistrer. Si l'on a en vue une analyse ultérieure, l'enregistrement se fait aux 2 extrémités de la chaîne de mesure : à l'entrée sur un enregistreur magnétique — ou un appareil similaire —, à la sortie sur un enregistreur de niveau ou un oscillographe.

L'enregistrement magnétique s'est très répandu, même dans le cas de bruits stables, car il permet de faire dans le calme du laboratoire toutes les études désirables. Il arrive d'ailleurs fréquemment que le temps d'essai soit trop limité pour pouvoir se livrer à une étude complète. On trouve actuellement des appareils qui ont la qualité mesure et des bandes



FIG. 12. — Analyseur en tiers d'octave.

Cet appareil indique également le bruit global suivant les prescriptions U.S.A. et allemande. Il est synchronisé avec un enregistreur de niveau (placé en avant).

Constructeur : Bruel et Kjaer.

sélectionnées dont la sensibilité reste uniforme sur toute leur longueur.

A l'autre extrémité de la chaîne, on placera par exemple un enregistreur rapide de niveau; l'un des constructeurs synchronise le déplacement du papier de l'enregistreur avec la commutation des bandes $1/3$ d'octave de son analyseur, ce qui donne un tracé direct du spectre.

L'oscillographe cathodique est recommandé dans le cas de bruits de choc. Il est aussi utilisé dans certains appareils d'analyse par la méthode de la fréquence chercheuse: en synchronisant fréquence chercheuse et balayage du spot, on obtient sur l'écran le spectre du bruit et on peut en suivre éventuellement les fluctuations.

3. — Aspects physiologiques de la mesure des bruits.

3-1. — COMPARAISON ENTRE SONS PURS DE FRÉQUENCE DIFFÉRENTE. — LIGNES ISOSONIQUES.

On trouvera à la fig 14 :

- les lignes isosoniques de Fletcher-Munson qui ont servi de base à la réglementation U.S.A. des appareils de mesure de bruits ;
- celles déterminées ensuite par Churcher-King.



FIG. 13. — Analyseur basé sur le principe de la fréquence chercheuse avec enregistrement oscillographique.

Constructeur : Laboratoire électro-acoustique.

Les 2 réseaux se ressemblent assez bien sauf que, d'après Churcher-King, les basses fréquences paraissent toujours moins intenses que les fréquences moyennes, même aux forts niveaux. Ce résultat semble d'ailleurs mieux correspondre à la réalité et c'est sans doute pour cela que la réglementation

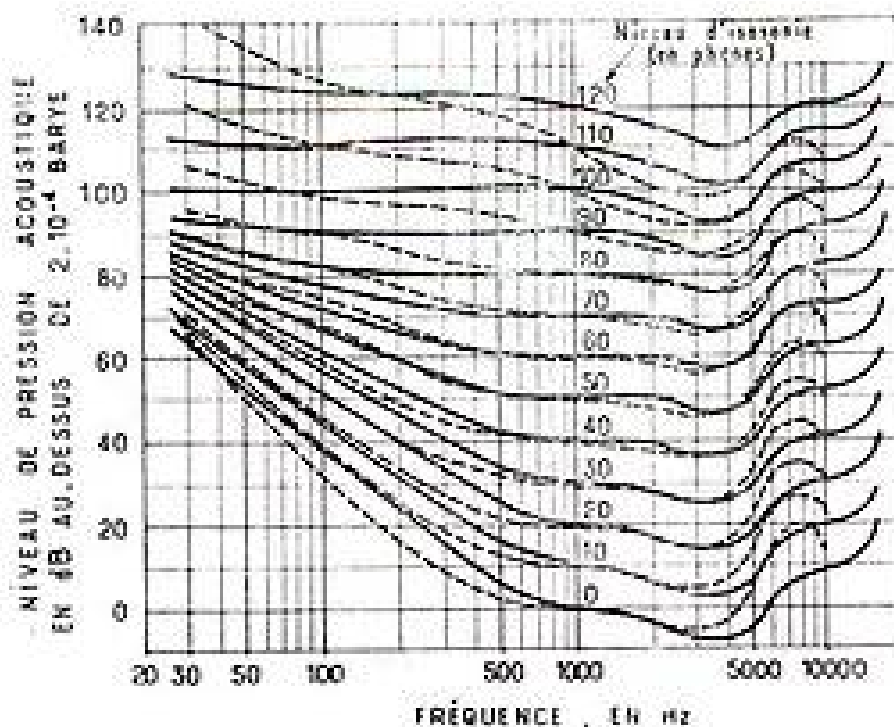


FIG. 14. — Réseau de lignes isosoniques.

— d'après Fletcher et Munson.
- - - - - d'après Churcher et King.

allemande impose pour les bruits élevés une courbe qui affaiblit déjà de 12 dB les composantes à 50 Hz.

D'autres déterminations très minutieuses, ayant porté sur un nombre considérable d'individus, viennent d'être faites au National Physical Laboratory de Teddington. Aux niveaux élevés – au-delà de 80 dB – les résultats correspondent sensiblement à ceux de Churcher-King ; ils s'en écartent ensuite progressivement en ce sens que l'influence de la fréquence est plus faible.

En fait, plus on avance, plus les lignes isosoniques tendent à rester parallèles. Cela simplifie un peu le problème de la mesure objective des bruits.

L'adoption d'un réseau de lignes isosoniques normalisé est en cours de discussion à l'« International Standard Organization ».

3-2. — ECHELLE DE SONIE.

L'échelle logarithmique est-elle vraiment une échelle de sensation ?

De nombreux expérimentateurs se sont attaqués à ce problème, en demandant à des observateurs quand un bruit paraissait augmenté ou réduit dans un rapport donné (2 par exemple).

Les résultats divergent un peu – le contraire serait surprenant – mais pas tellement et les Américains ont adopté une certaine relation entre sonie et niveau d'isotonie et, du même coup, une nouvelle unité : le sone.

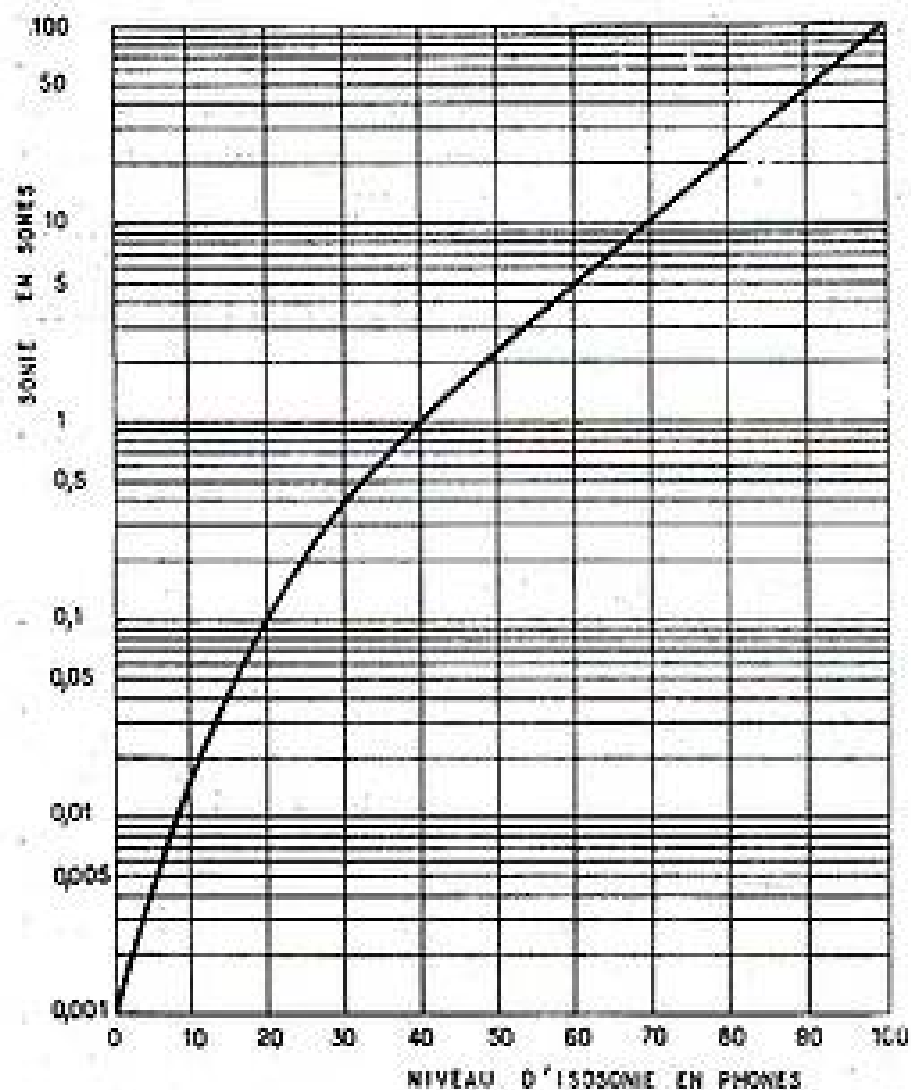


FIG. 15. — Relation entre la sonie et le niveau d'isotonie adoptée par American Standard Association.

La fig. 15 montre qu'entre 40 et 100 phones la sonie devient sensiblement moitié pour chaque réduction de 10 phones.

Ces expériences ont été reprises ces derniers temps par le N.P.L. (1) en considérant non seulement un son à 1 000 Hz, mais des bruits courants plus ou moins complexes dont le niveau d'isotonie était déterminé subjectivement – et cela avec toutes les précautions désirables – par comparaison avec un son pur à 1 000 Hz. On a trouvé dans tous les cas la même relation sones-phones, relation qui n'est guère différente de celle de la fig. 15. Une telle constatation est encourageante car elle montre la valeur des déterminations relatives tant à l'isotonie qu'à la sonie, déterminations au sujet desquelles on aurait pu manifester a priori un certain scepticisme.

Il ne faut cependant pas perdre de vue que :

1) la transformation des phones en sones n'est qu'une question de changement d'échelle ;

2) On ne peut passer des phones aux sones qu'à condition de connaître au préalable les phones.

3-3. — NIVEAU D'ISOTONIE DE BRUITS COMPLEXES.

Supposons qu'un bruit renferme n composantes ayant chacune un certain niveau d'isotonie ; plus elles sont espacées, plus le niveau d'isotonie du bruit est élevé par rapport à celui qui résulterait de l'addition quadratique des pressions acoustiques convenablement pondérées. On a par exemple trouvé que 10 composantes de 50 phones régulièrement espacées de 340 Hz donnaient 78 phones, alors que par la loi d'addition quadratique – qui est la loi prescrite par la réglementation des appareils de mesure de bruits – on n'en obtiendrait que 60.

Les recherches dont il vient d'être question ont conduit aux U.S.A. à la méthode de calcul suivante :

1) On divise l'intervalle de fréquences en un certain nombre de zones ;

2) Dans chaque zone, on détermine successivement :

- le niveau de la pression acoustique, en dB ;
- le niveau d'isotonie, en phones (par référence au réseau de lignes isosoniques).
- la sonie, en sones (d'après la fig. 15).

3) On ajoute les sones.

4) On passe – si on le désire – des sones globaux aux phones correspondants.

La largeur de chaque zone correspond à un même intervalle de hauteur ; leur nombre optimum se situe entre 5 et 10 suivant que le spectre est assez continu ou se compose de sons discrets.

Dans un but de simplification, on tend à prendre comme largeur de zone des intervalles de 1 octave,

(1) Robinson - The relation between the sone and the phone scale. *Acustica* - Vol. 3. n° 5 - p. 344-358, 1953.

ce qui permet d'utiliser les analyseurs du commerce. Les calculs sont alors facilités par des barèmes ou abaques.

Le niveau d'isotonie ainsi calculé est dénommé par Beranek « Computed Loudness Level ». Cette prudence est à mettre en parallèle avec la désinvolture avec laquelle on dénomme phones les résultats de l'appareil de mesure de bruits classique. Pour un compresseur par exemple, dont le spectre était pratiquement plat entre 35 et 2 000 Hz puis commençait à plonger, on obtenait avec la courbe C 94 dB et avec B 91 dB, alors que le calcul — qui est bien plus près de la réalité — donnait 107 phones.

3-4. — PERCEPTION DES BRUITS IRRÉGULIERS OU DE FAIBLE DURÉE.

Des essais de Bekesy, déjà anciens, ont montré qu'un son bref, de fréquence moyenne, produit la même sonie qu'un son permanent, dès que sa durée atteint 200 millisecondes ; en deçà elle diminue progressivement, d'autant plus vite que le niveau est faible (à 10 millisecondes, réduction de 6 phones pour un son intense et de 12 environ pour un son faible).

Ce sont ces résultats qui ont servi de base à la réglementation des appareils de mesure de bruits.

Que se passe-t-il pour des chocs répétés ou des sons subissant des fluctuations relativement lentes ? On sait très peu de chose, sinon qu'un son irrégulier ayant même valeur moyenne qu'un son stable est bien plus gênant que lui.

4 — Effet de gêne des bruits — Niveaux de bruit admissibles.

Il ne servirait à rien — ou du moins à peu de chose — de déterminer décibels, phones, soncs si nous n'étions pas capables de répondre à la question « quelle est la valeur admissible ».

C'est en particulier la question qu'on nous pose — à nous acousticiens — au moment de la conception d'une installation, de la commande d'une machine. Il nous faut donner une réponse mais notre embarras est grand.

Et tout d'abord, s'il est bien évident que les bruits nous gênent, comment cette gêne se manifeste-t-elle ? Y a-t-il une relation bien définie entre elle et le niveau d'isotonie ?

On a maintes fois demandé à du personnel de classer par ordre de gêne croissant les différents bruits auxquels il était exposé ; les réponses ont toujours été décevantes, en ce sens que les divers bruits avaient finalement presque tous la même cote.

On s'est tourné alors vers des tests ayant trait à l'activité humaine, tels le temps de réaction psychomotrice, le rendement du travail, sa qualité et l'on a parfois publié des résultats qui paraissaient probants. Tous les expérimentateurs sérieux déclarent

cependant qu'ils n'ont pu mettre en évidence aucune corrélation ; cela provient du fait que nous avons une grande facilité d'adaptation aux bruits, du moins à ceux qui sont soutenus, ce qui ne veut pas dire que nous les tolérons aussi facilement et qu'ils ne puissent avoir certaines répercussions fâcheuses.

Un fait observé depuis longtemps est que, à égalité de niveau d'isotonie, les sons aigus sont plus gênants que les sons graves ou de fréquence moyenne. Certains auteurs ont même tracé des lignes d'égal effet de gêne ; elles traduisent une variation considérable entre 1 000 et 4 000 Hz.

Parmi les effets néfastes du bruit se prêtant à l'analyse, on a étudié surtout :

- le risque de surdité ;
- la réduction d'intelligibilité des conversations ;
- le degré d'audibilité dans un bruit de fond.

4-1. — RISQUE DE SURDITÉ.

La surdité professionnelle est bien connue. Elle est fonction du niveau de bruit, de sa répartition spectrale, de la durée d'exposition au bruit — si la durée est courte, la surdité n'est que temporaire — et, évidemment, de l'individu, de son âge.

Dans ces conditions, il n'est pas étonnant qu'on n'ait encore que des renseignements quantitatifs assez sommaires car les expériences doivent s'échelonner sur de longues années et, pour un même type de bruit, concerner un nombre suffisant d'individus.

Des travaux importants sont en cours. Ceux qui ont été faits à ce jour montrent que le risque de surdité doit être évalué en considérant non pas la valeur globale du bruit mais sa valeur dans l'une quelconque des bandes de fréquences dénommées bandes critiques (cf. 4-3). On admet par exemple que pour un séjour continu dans un bruit (8 h. par jour pendant au moins 10 ans) le risque de surdité commence pour des niveaux par bande critique passant de 95 dB vers 100 Hz à 84 dB vers 800 Hz et 80 dB vers 6 000 Hz

4-2. — RÉDUCTION D'INTELLIGIBILITÉ DES CONVERSATIONS EN PRÉSENCE DE BRUITS.

Il s'agit là sans doute du critère le plus important : pour rendre les conversations suffisamment intelligibles dans un bruit ambiant, nous devons nous rapprocher de notre interlocuteur et élever le niveau de la voix, ce qui est gênant et parfois pénible.

Cette question a été très étudiée aux U.S.A., en particulier pour évaluer l'efficacité de l'insonorisation des avions et une méthode mise au point, qui est utilisée aussi dans d'autres pays (en France à l'ONERA et à la S.N.C.F.).

Le principe de la méthode est le suivant : on a remarqué, qu'au cours d'une conversation à un niveau acoustique moyen donné, le niveau instantané variait en fait d'environ 30 dB et cela dans toute la gamme des fréquences. On délimite ainsi, pour un

conversation à un niveau moyen donné et pour une distance donnée entre interlocuteurs, une certaine zone dite zone de conversation ; elle se déplace parallèlement à elle-même avec la distance entre interlocuteurs - variation de 6 dB chaque fois que la distance est doublée - et le niveau moyen de la voix.

Cette zone est indiquée à la fig. 16 pour une conversation à voix forte et une distance entre interlocuteurs de 20 cm.

Portons sur le même diagramme le spectre du bruit ; plus il couvre la zone de conversation, plus

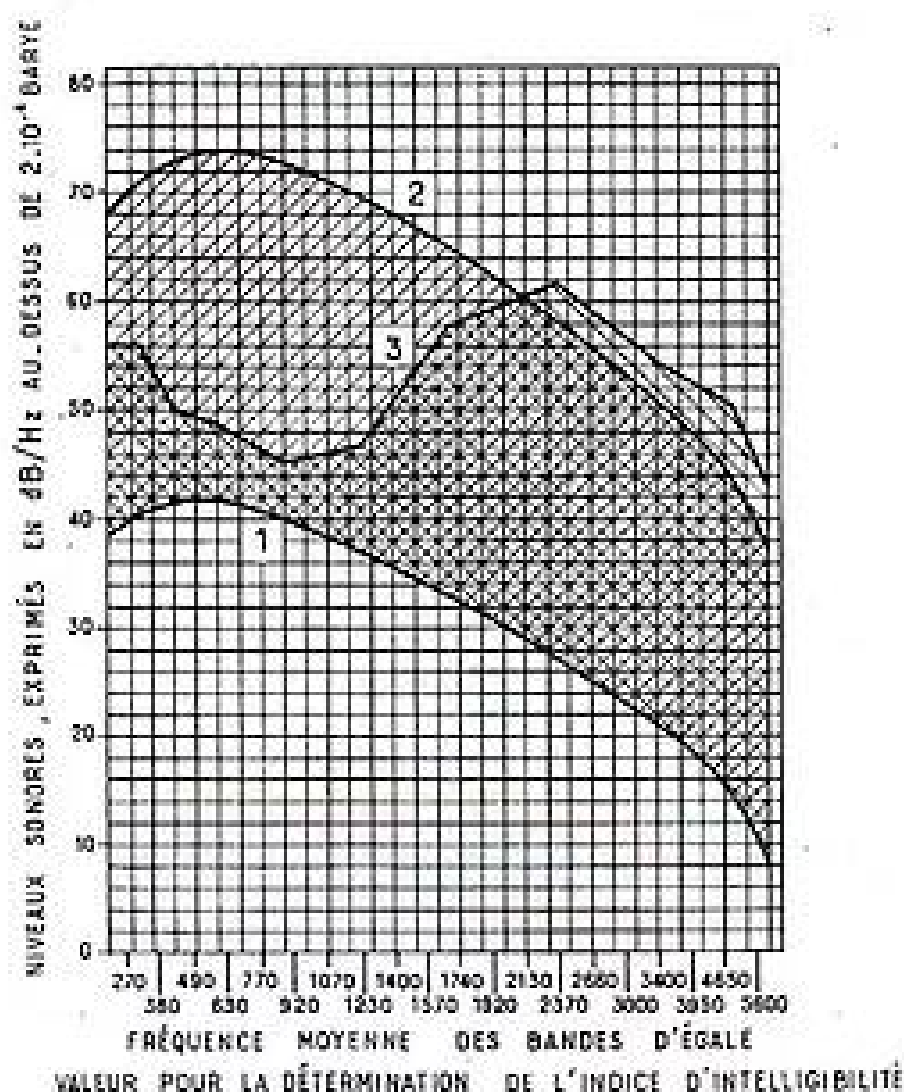


FIG. 16. — Détermination de l'indice d'intelligibilité de conversations en présence d'un bruit.

Cas d'interlocuteurs parlant à voix forte et à 20 cm d'intervalle.
 1 - Valeur minimum des niveaux sonores au cours de la conversation ;
 2 - Valeur maximum des niveaux sonores au cours de la conversation ;
 3 - Spectre du bruit.

l'intelligibilité est réduite. On définit un *indice d'intelligibilité* « Articulation Index » par le pourcentage de la zone non couverte par le bruit. Dans le cas de la figure, il est par exemple de 30 %.

Quand le spectre du bruit se déplace parallèlement à lui-même, l'indice d'intelligibilité baisse de 10 % pour une variation de niveau de 3 dB.

Pour les besoins de la pratique on peut apprécier d'une façon moins précise mais plus rapide l'influence des bruits sur l'intelligibilité des conversations en considérant la moyenne arithmétique des niveaux sonores relevés dans les 3 bandes d'octave : 600-1200, 1200-2400, 2400-4800 Hz, moyenne que les Américains dénomment « Speech Interference Level » et l'on a établi le barème ci-après :

Distance entre interlocuteurs en mètres	Valeur moyenne des niveaux sonores relevés dans 3 bandes de 1 octave, comprises entre 600 et 4 800 Hz, permettant une conversation :			
	normale	à voix haute	à voix très haute	en criant
0,15	71	77	83	89
0,30	65	71	77	83
0,60	59	65	71	77
1,2	53	59	65	71
2,4	47	53	59	65

4-3. — AUDIBILITÉ D'UN BRUIT EN PRÉSENCE D'UN BRUIT DE FOND.

Il s'agit là du problème de la gêne produite au voisinage par des installations industrielles : un bruit est déclaré gênant lorsqu'il est - plus ou moins nettement - remarqué au milieu d'un bruit ambiant préexistant.

Ce problème se pose aussi lorsqu'on veut définir la limite de bruit acceptable pour une nouvelle machine à installer parmi d'autres ; il suffit que la nouvelle soit inaudible dans le bruit de fond.

On a montré que seules sont susceptibles de masquer un son pur donné les composantes du bruit situées dans une bande de fréquences étroite centrée sur la fréquence de ce son, bande dénommée « critical band ». Autrement dit l'oreille se comporte comme un analyseur en bande. Le son pur est alors remarqué dès que son niveau est supérieur à celui du bruit complexe dans la bande critique. Lorsque le son perturbateur est un bruit complexe, on le décompose

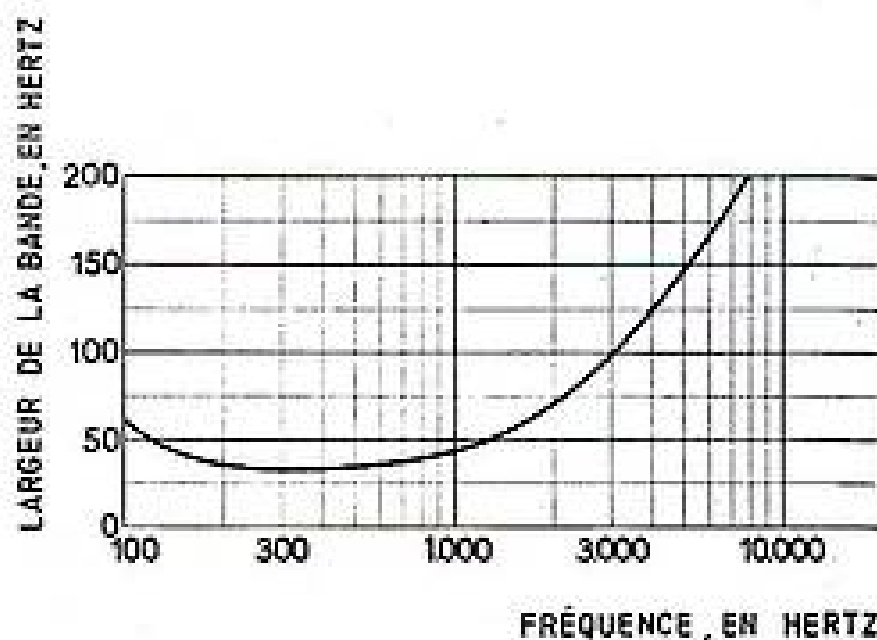


FIG. 17. - Largeur de la bande critique.

Pour déterminer le caractère d'audibilité d'un son pur en présence d'un bruit complexe, on en compare le niveau à celui du bruit dans la bande critique centrée sur sa fréquence. Les composantes situées en dehors de cette bande n'interviennent pas.

lui aussi en bandes critiques ; il est remarqué si, dans l'une quelconque des bandes, son niveau dépasse celui du bruit de fond.

A titre d'exemple, nous citerons le cas de ventilateurs de chaudières qui provoquaient des protestations du voisinage dans un rayon assez grand autour d'une centrale. Ils produisaient un son pur de fréquence 155 Hz dont le niveau variait, par suite de battements, entre un maximum de 63 dB et un minimum située aux environs du bruit de fond dans la bande : 43 dB. La largeur de la bande critique

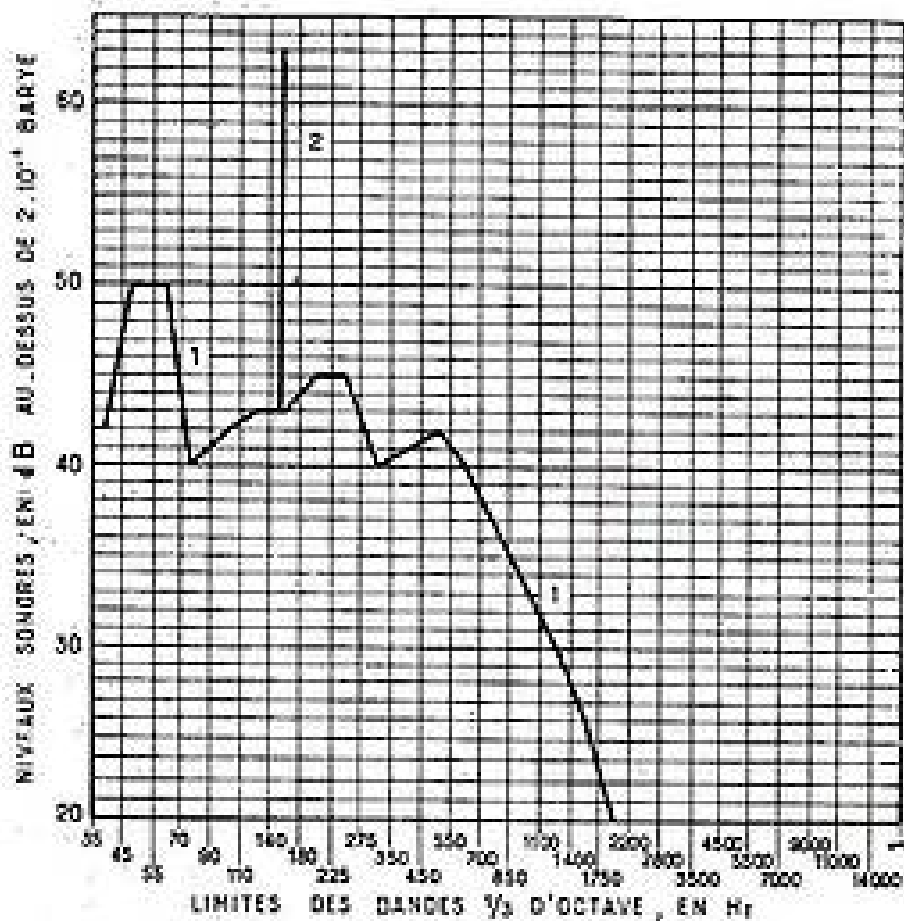


FIG. 18. — Détermination de l'affaiblissement nécessaire pour rendre inaudible des ventilateurs produisant un son pur.

- 1 - Bruit de fond ;
2 - Son pur dû aux ventilateurs.

correspondant sensiblement au tiers d'octave, on en a déduit qu'un affaiblissement d'une vingtaine de dB serait nécessaire.

Si l'on s'était contenté de mesurer le bruit global avec la courbe de pondération A, on aurait trouvé que le bruit des ventilateurs n'était que de 6,5 dB supérieur au bruit de fond ; de même le calcul du niveau d'isotonie par la méthode indiquée en 3-3 aurait conduit à un écart d'environ 5 phons. Or il nous faut affaiblir d'une vingtaine de dB et cela parce qu'il s'agit d'un son pur.

Il est utile, lors de l'établissement de projet d'installation, de disposer de bases permettant de prévoir les réactions du voisinage. Les Américains ont établi à ce sujet des barèmes qui font intervenir la situation (zone industrielle à très calme), l'analyse spectrale du bruit (en bandes de 1 octave) et divers autres facteurs affectant le degré de gêne tels que : nuit ou jour, permanent ou intermittent, son pur ou complexe. La valeur de tels barèmes devra être jugée à l'usage et il est bien évident qu'ils ne peuvent traduire qu'une appréciation moyenne.

4-4. — COMPARAISON ENTRE LES CRITÈRES PRÉCÉDENTS.

Quel que soit le critère envisagé, il est relié non au niveau d'isotonie mais à la répartition spectrale.

La relation est cependant foncièrement différente d'un critère à l'autre aussi peut-on être conduit à des conclusions opposées selon celui auquel on s'intéresse. Par exemple, un son pur est très aisément remarqué dans un bruit de fond complexe mais, inversement, il masque peu les conversations et n'en affecte guère l'intelligibilité.

Il serait aussi parfois imprudent de caractériser les bruits en se basant sur un critère unique : celui d'intelligibilité est, à juste titre, utilisé dans les transports et cependant il s'y produit parfois des sons de basse fréquence qui n'affectent pas l'intelligibilité mais peuvent, s'ils sont intenses, devenir pénibles.

5 - Conclusions - Manière de poser le problème.

Tout ce qui vient d'être dit, tant sur les aspects physiques que sur les aspects physiologiques de la mesure des bruits, n'est guère encourageant. Et pourtant l'expérience courante montre que la mesure des bruits rend d'immenses services, à la condition que le problème soit correctement posé et que le technicien chargé de le résoudre soit bien au courant de l'approximation qu'il fait.

Les mêmes difficultés se présentent d'ailleurs pour toutes les sensations. La sensation de chaleur par exemple ne dépend pas seulement de la température mais de la façon dont la chaleur nous arrive - par rayonnement ou par conductibilité - ; elle dépend aussi d'autres facteurs, tels l'humidité. Cela n'empêche pas de mesurer la température car il y a corrélation entre elle et la sensation de chaleur, de même qu'il y avait corrélation entre le niveau acoustique d'un bruit, son niveau d'isotonie et l'un des effets de gêne.

Dans le cas de sources lumineuses également, nous trouvons tout naturel de les caractériser par l'intensité mais nous savons bien qu'il faut tenir compte de la couleur. En fait, on ne fait que des comparaisons entre sources de même type, donc de même couleur.

Il convient donc de limiter nos prétentions.

Tout d'abord, essayons toujours de ramener le problème physiologique à un problème physique ; recourons le moins possible aux phons ou aux sones qui n'entraînent généralement que confusion. Dans la plupart des cas, c'est possible. Il s'agit par exemple pour un constructeur de comparer entre elles des machines de spécifications voisines, de préciser l'effet de modifications apportées en vue de réduire le bruit ; les spectres sonores restent alors normalement du même genre et le classement résultant des mesures physiques correspond à celui qu'on obtiendrait en déterminant le niveau d'isotonie ou l'un quelconque des effets de gêne. Cette mesure physique, pour laquelle une précision de l'ordre du décibel est nécessaire, sera faite en utilisant la courbe de réponse en fonction de la fréquence la plus appropriée mais le choix n'est pas critique, puisque la tonalité ne se modifie guère.

Il arrive certes que la tonalité se modifie et même fortement, par exemple que la mise en place d'un

silencieux donne une importance plus grande aux basses fréquences, qui alors dominent. Il arrive aussi que le type de spectre ne soit pas du tout le même : dans un cas un son pur, dans l'autre un spectre assez régulier. Ces modifications doivent être décelées. La première le sera en comparant entre eux les résultats obtenus avec les diverses courbes de réponse de l'appareil de mesure, la seconde en écoutant le bruit ou en faisant une analyse spectrale. Dans les 2 cas, l'interprétation des résultats est en général assez délicate.

Lors des études de réduction du bruit d'une certaine machine ou d'une certaine installation, on n'a pas à s'occuper outre mesure des questions d'implantation de la machine, de position du microphone et on peut même admettre une certaine tolérance dans les performances de l'appareil de mesure : tout ce qu'il faut c'est que l'ensemble reste constant pendant le cours de l'expérimentation.

Il n'en va plus de même pour les mesures de réception : l'appareil de mesure ainsi que les conditions

de l'essai doivent être rigoureusement définis et autant que possible normalisés.

Pour les appareils de mesure c'est chose faite. La réglementation rend de grands services, malgré son caractère conventionnel à certains égards.

Il existe aussi des codes d'essais. Ils sont généralement basés sur la détermination de la valeur moyenne des niveaux de pression acoustique relevés autour de la machine, à une distance suffisamment faible pour qu'on ne soit pas troublé par les réflexions du local. Cette méthode est satisfaisante tant que les machines à comparer restent assez semblables du point de vue des dimensions et des caractéristiques de directivité, ce qui est le cas le plus fréquent.

Il ne faut cependant pas oublier qu'une source sonore est caractérisée par la puissance qu'elle rayonne et que la connaissance de cette puissance — ainsi que éventuellement des caractéristiques de directivité — est nécessaire pour déterminer le niveau de pression existant à une distance quelconque de la source dans une ambiance donnée.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA NORMALISATION DES AUDIOMÈTRES

PAR

R. LEHMANN

*Ingénieur au Centre National d'Études
des Télécommunications*

1. Généralités.

Les audiomètres, appareils de mesure de l'acuité auditive, firent leur apparition sur le marché il y a quelques dizaines d'années déjà, et, naturellement, leur évolution suivit celle de l'électronique ; il est intéressant, à cet égard, de se reporter au travail historique de BUNCH [1] pour mesurer tout le chemin parcouru. Dès 1937, on s'aperçut de la nécessité d'une normalisation des audiomètres sur le plan national et l'A.F.N.O.R. en entreprit alors l'élaboration.

Les travaux furent interrompus en 1939 et ne reprirent sérieusement, en France tout au moins, qu'en 1953.

Le problème majeur à résoudre était la détermination du seuil normal moyen, pour diverses fréquences. D'autres paramètres devaient naturellement être également précisés, mais, comme nous le verrons, la difficulté principale résidait dans la détermination du premier d'entre eux (le seuil normalisé) et c'est sur ce point particulier que nous insisterons dans le présent travail, car il présente un aspect purement électroacoustique, malgré son apparence physiologique.

2. Détermination du seuil d'audition moyen.

Sans vouloir aborder le problème de l'importance médicale de la détermination exacte d'un seuil d'audition, il est nécessaire de préciser immédiatement qu'il faut nettement différencier :

- les seuils mesurés par voie aéro-tympanique et
- les seuils mesurés par voie osseuse.

Nous passerons donc successivement en revue ces deux modes de mesure, aujourd'hui universellement utilisés ; puis, nous examinerons les difficultés techniques que l'on rencontre, tant pour la mesure elle-même, que pour la définition et la normalisation des seuils moyens correspondants.

1° LES SEUILS AÉRO-TYMPANIQUES.

Pour une oreille et une fréquence données, on peut définir le seuil d'audition aéro-tympanique d'un individu comme étant la plus petite pression acoustique nécessaire pour éveiller une sensation auditive. Or, il ne faut pas oublier que l'oreille est peut-être l'instrument de physique le plus remarquable, car, si elle entend, dans la nature, des sons intenses correspondant à des pressions de plusieurs milliers de baryes, elle peut, aussi, percevoir des sons faibles correspondant à 10^{-10} fois la pression atmosphérique.

A ces pressions, l'amplitude des déplacements du tympan est de l'ordre de 10^{-9} cm, soit de l'ordre de grandeur des dimensions de l'atome [2]. La figure 1 montre, d'après WILSKA, pour diverses fréquences, les amplitudes moyennes des déplacements du tympan au seuil. La limite inférieure du seuil peut être considérée comme étant déterminée par la pression produite par le mouvement brownien ; divers calculs ont montré que, tout au moins pour la bande 1 000-6 000 Hz, la pression efficace résultant de ce mouvement est de l'ordre de 86 dB au-dessous de 1 barye [3] ; or, dans la région de sensibilité maximum de l'oreille, on obtient généralement comme seuil, pour des sujets normaux, des pressions de l'ordre de 75 dB au-dessous de 1 barye, et très exceptionnellement, de l'ordre de 80 dB, ce qui montre

que la limite inférieure précédemment indiquée peut être considérée comme pratiquement acceptable.

Sans tenir compte des problèmes d'ordre physiologique et biologique qui se posent pour déterminer le mode de fonctionnement de l'oreille [4], on peut immédiatement imaginer deux possibilités pour mesurer le seuil auditif par voie aéro-tympanique, dont les techniques sont très différentes l'une de l'autre :

on désire mesurer cette pression sonore et plusieurs possibilités s'offrent alors : mesure de la pression sonore près du tympan, à l'extrémité du canal auriculaire, dans le plan tangent extérieur à l'oreille, en un point quelconque du conduit auditif... La mesure près du tympan, outre le danger qu'elle présente, est difficile à exécuter avec précision, car on ne peut connaître avec exactitude le point où est mesurée cette pression.

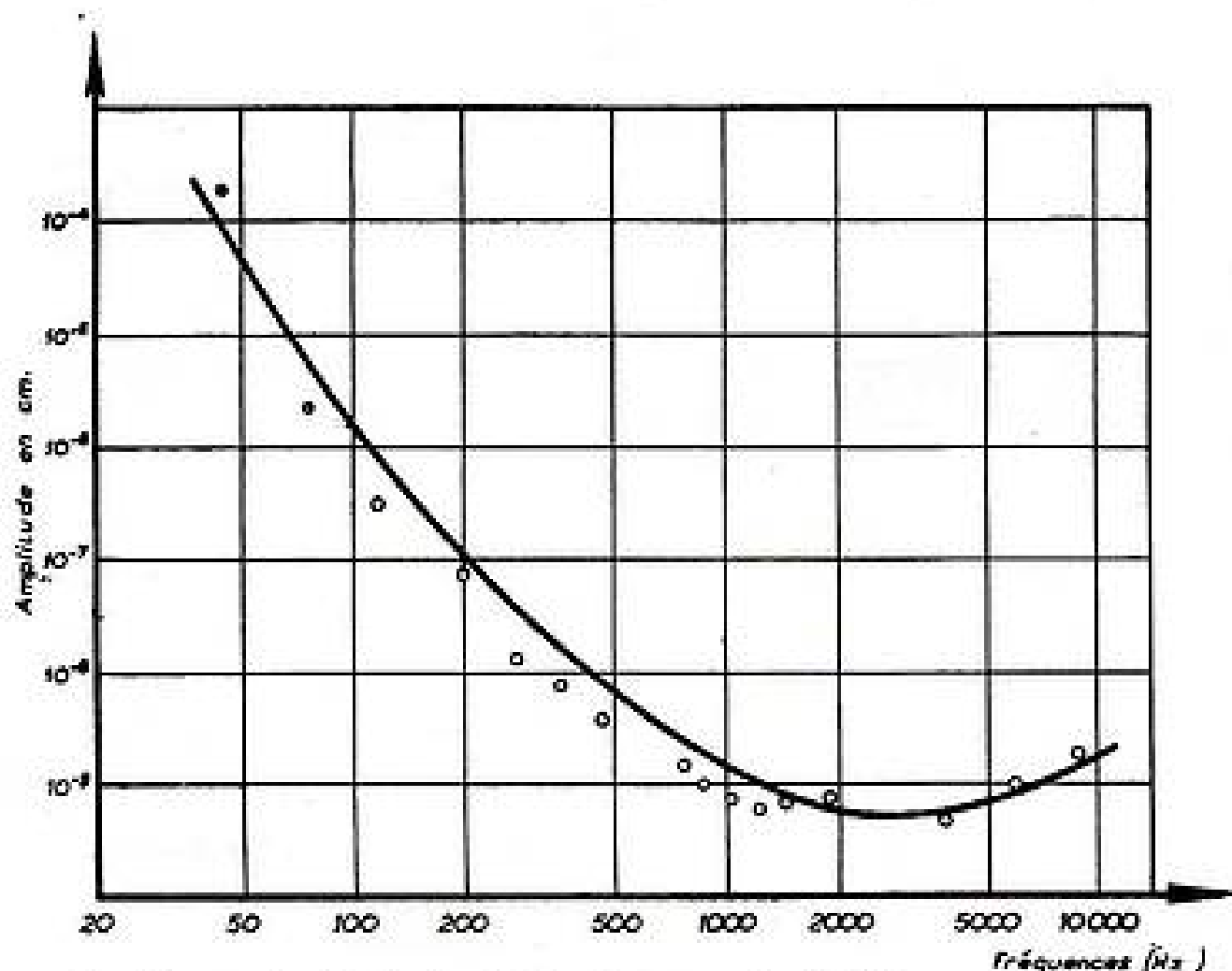


FIG. 1 — Amplitudes des vibrations du tympan, d'après Wilska, au seuil d'audition.

a) seuil mesuré à l'aide d'un écouteur posé contre l'oreille,

b) seuil mesuré à l'aide d'un haut-parleur, le sujet étant placé dans un champ acoustique libre (pas de réflexions).

Si la seconde méthode a des applications nombreuses dans le domaine de l'acoustique physiologique et, en particulier, pour la détermination des niveaux acoustiques subjectifs et pour les mesures d'écoute binauriculaire (courbes d'égale sensation sonore, courbes d'égale gêne, courbes de masquage et d'émergence...), elle est, par contre, peu utilisée dans la technique de la mesure des seuils d'audition. La première méthode, au contraire, est universellement utilisée, et, de ce fait, nous pensons qu'il est préférable d'insister davantage sur sa mise en œuvre, sur ses possibilités, sur ses difficultés et sur les résultats qu'elle peut fournir.

a) *Seuil mesuré par écouteur.*

Suivant la définition qui a été donnée précédemment, la détermination du seuil revient à mesurer une pression sonore absolue. Lorsque l'on utilise, à cette fin, un écouteur, il faut préciser à quel endroit

Une méthode couramment utilisée dans la plupart des laboratoires d'acoustique pour déterminer les pressions acoustiques dans le conduit auditif est celle de la sonde microphonique. La méthode fut introduite par SIVIAN et WHITE dès 1933 [3], puis reprise et perfectionnée pendant et après la guerre par divers auteurs américains [5, 6 et 7]. Elle consiste à introduire une petite sonde cylindrique de 1 mm de diamètre environ dans le conduit auditif ; cette sonde passe dans le pavillon de l'écouteur et est reliée à un microphone électrostatique étalon qui permet la mesure des pressions sonores. Il est naturellement nécessaire, dans ce cas, d'étalonner avec précision le microphone muni de la sonde [7]. Inutile de dire que la mise en œuvre de cette technique est très délicate, car deux types d'erreurs sont principalement à craindre :

— étalonnage du système électroacoustique plus ou moins précis,

— imprécision sur le point de mesure de la pression.

À cet égard, la figure 2 donne les résultats obtenus par divers auteurs avant 1933 [3], tandis que la figure 3 montre les résultats obtenus récemment en Grande Bretagne par DADSON et KING [8] en

deux points situés respectivement à 3 mm à l'intérieur du conduit auditif et à 7 mm à l'extérieur.

Il semble donc bien difficile de définir avec précision une pression sonore correspondant à un seuil

Il est également possible de remplacer la sonde, comme cela a été fait en France, par un microphone piézoélectrique de très petites dimensions que l'on place dans le pavillon de l'écouteur. Pour ne pas perturber le champ acoustique de l'écouteur, il est

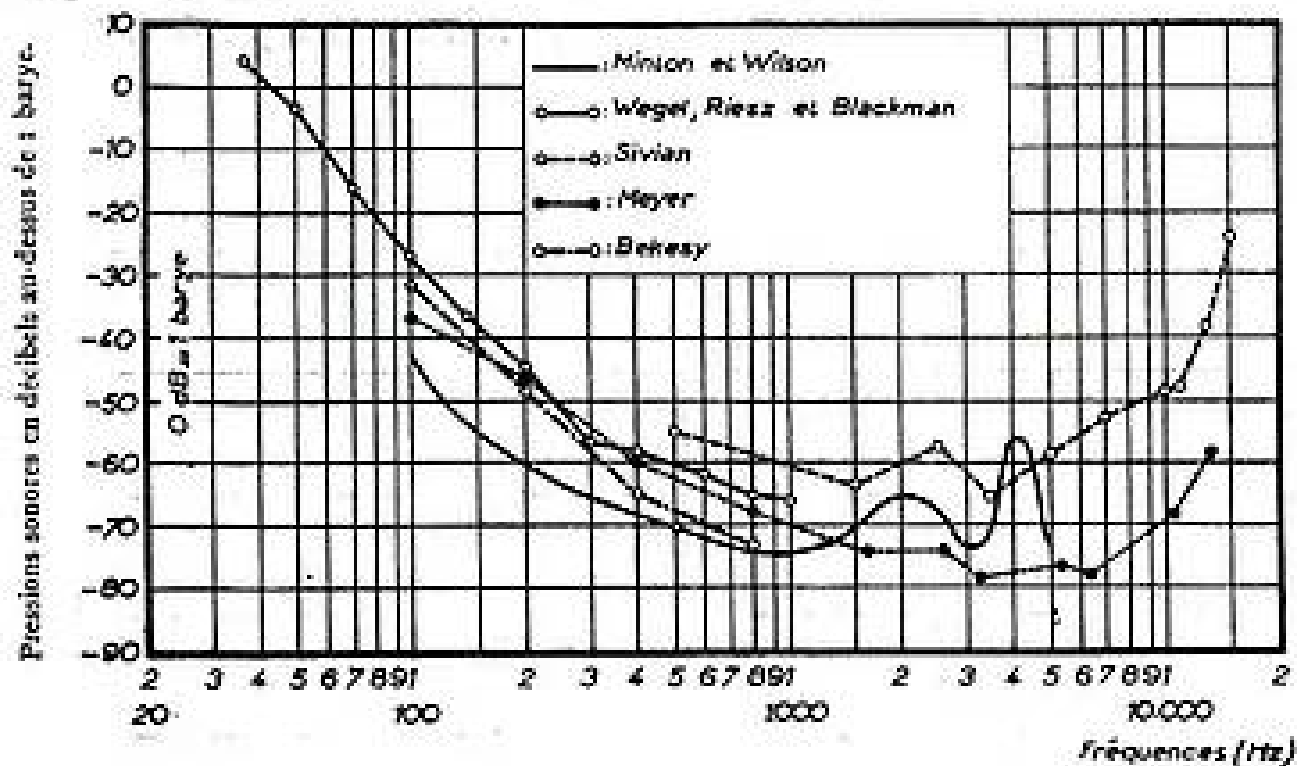


FIG. 2 — Courbes de seuils relevés à l'aide d'écouteurs, par divers auteurs, d'après Sivian et White.

auditif ; de plus, la force avec laquelle l'écouteur utilisé pour la mesure est appuyé sur l'oreille joue un rôle très important. Nous verrons dans les paragraphes suivants, d'une part les difficultés que l'on rencontre pour préciser un seuil moyen de référence, d'autre part l'importance du canal auditif dans la transmission des sons depuis l'extérieur de l'oreille jusqu'au tympan.

naturellement nécessaire que le cristal formant microphone soit très petit (3 à 4 mm de côté environ) ; mais on ne peut naturellement, dans ces conditions, ne mesurer la pression qu'à l'extérieur du conduit auditif, et, en particulier, dans le plan tangent du pavillon de l'oreille.

— Nous examinerons, dans un prochain paragraphe, les difficultés que l'on rencontre lorsque l'on veut

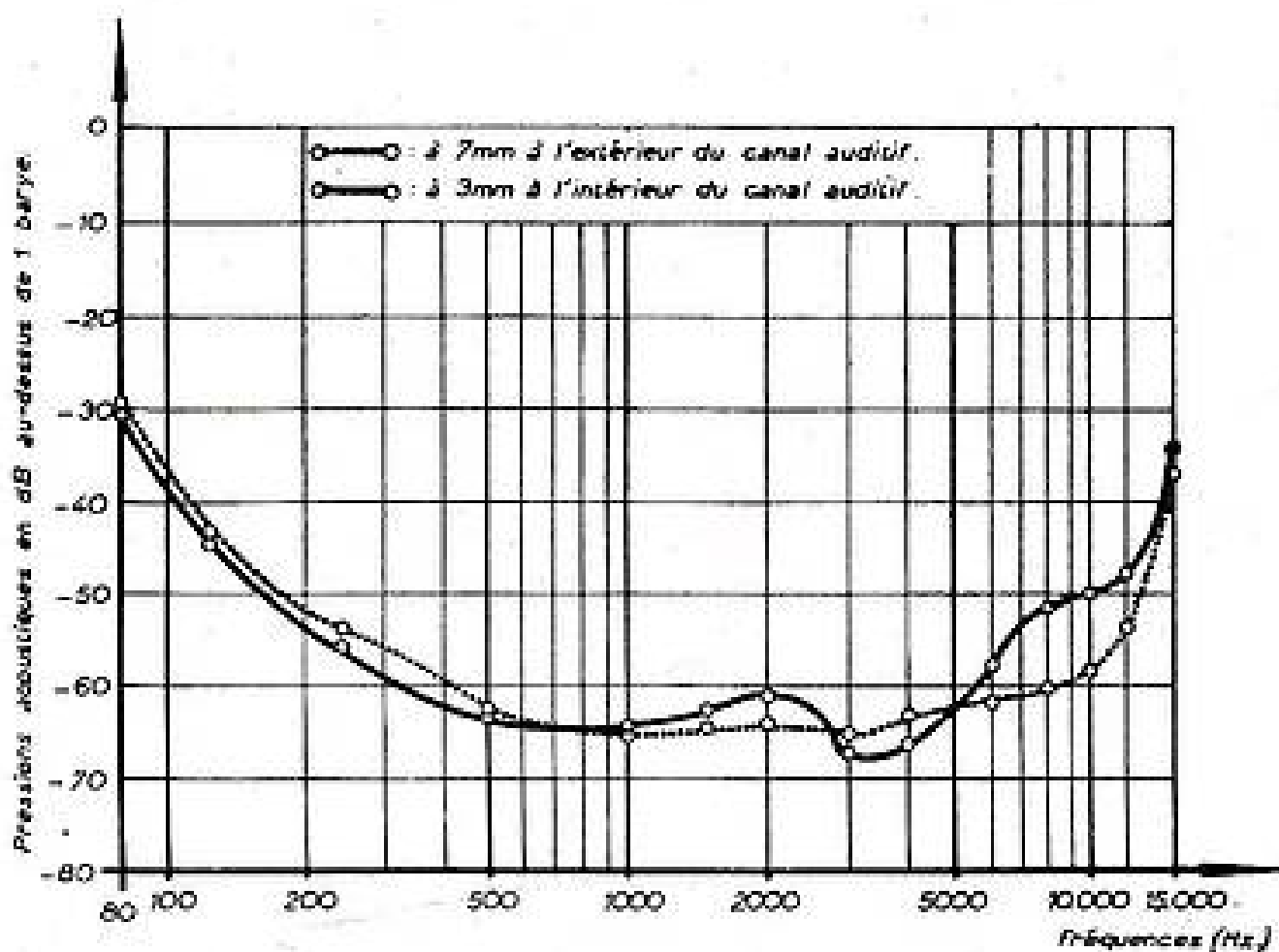


FIG. 15 — Différences obtenues par Dudson et King entre les pressions sonores mesurées en deux points du canal auditif.

ramener les résultats ainsi obtenu à des valeurs mesurables sur des oreilles artificielles.

b) Seuil mesuré par haut-parleur.

Cette méthode est encore plus délicate, plus sujette à caution et plus difficile à mettre en œuvre que la précédente. Elle nécessite l'utilisation d'une salle sourde, afin que le sujet examiné ne reçoive uniquement que les sons émis par le haut-parleur et non les sons réfléchis par les parois. D'autre part, la pression sonore à l'endroit où est la tête du sujet est

très différente selon que le sujet est, ou n'est pas, dans le champ acoustique du haut-parleur [9] : la question se pose alors de savoir dans quelles conditions il est nécessaire de calculer cette pression ? La figure 4 montre, d'après WIENER [9], le rapport existant entre la pression sonore mesurée à l'entrée de l'oreille et celle mesurée au même endroit lorsque le sujet examiné s'est retiré (en champ libre). Si, jusqu'à 1 000 Hz, les différences sont peu importantes (inférieures à 5 dB), il n'en est plus de même pour les fréquences comprises entre 1 500 et 3 000 Hz où les écarts peuvent atteindre 15 dB.

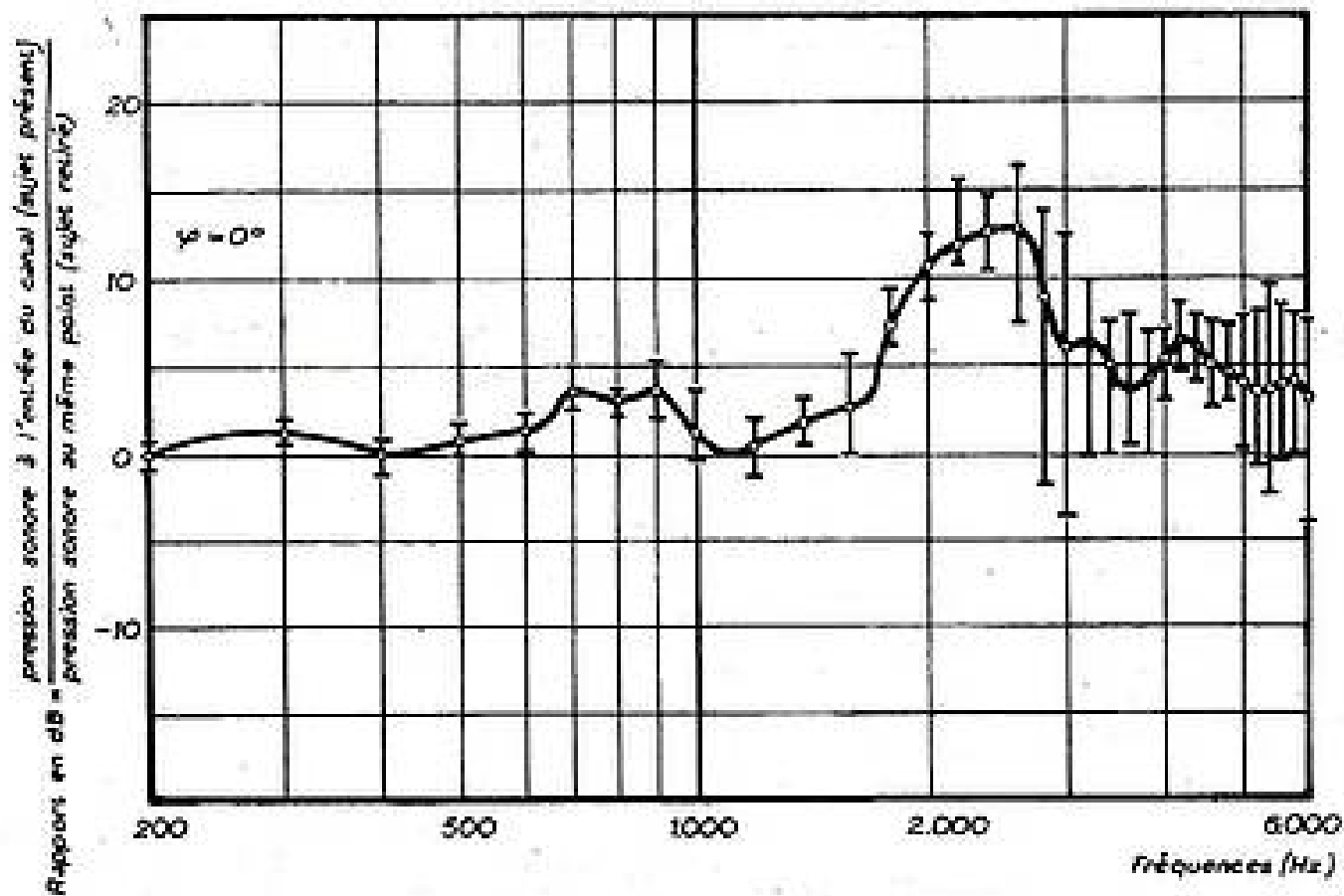


FIG. 4 — Rapport entre la pression sonore existant à l'entrée du canal auditif, lorsque le sujet est présent et lorsque le sujet s'est retiré, d'après Wiener (sujet face au haut-parleur).

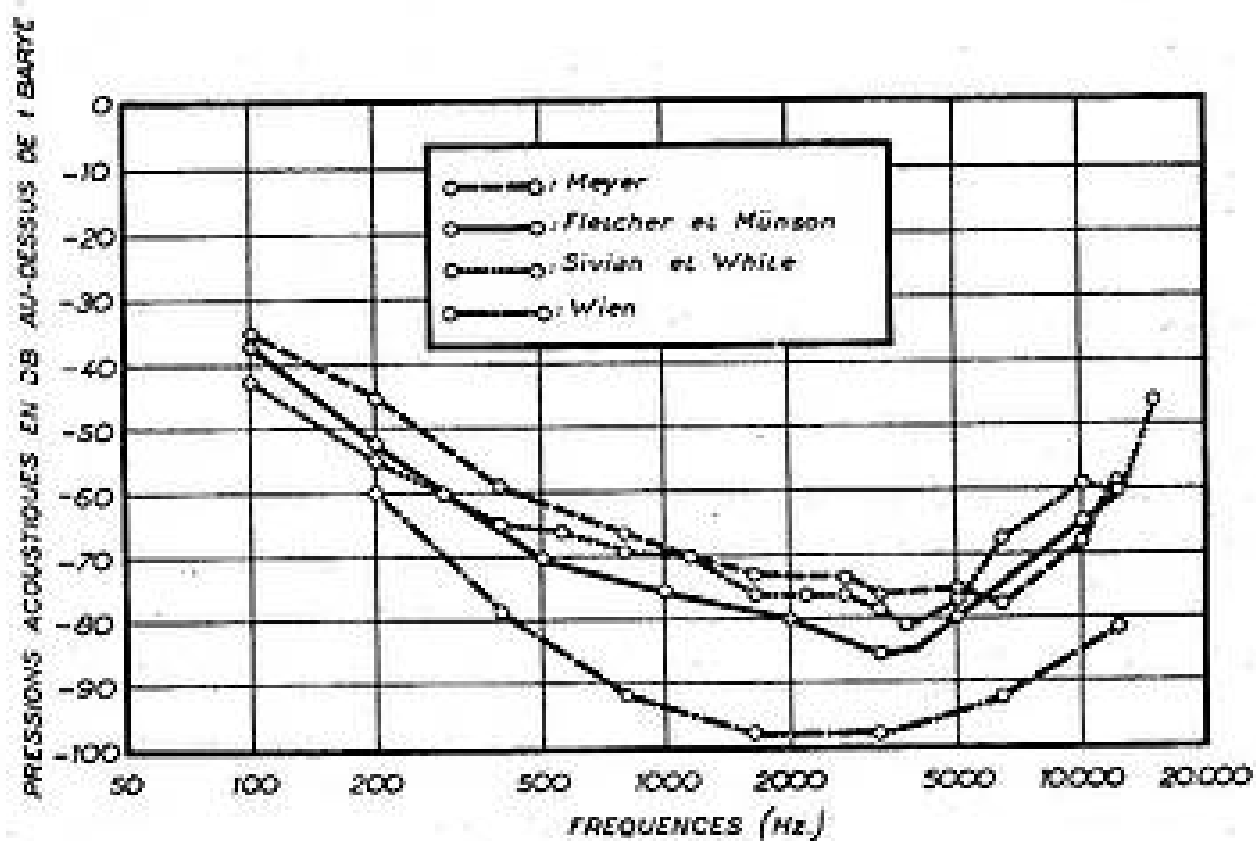


FIG. 5 — Courbes de seuils binauriculaires relevées à l'aide d'un haut-parleur, par divers auteurs, d'après Sivian et White

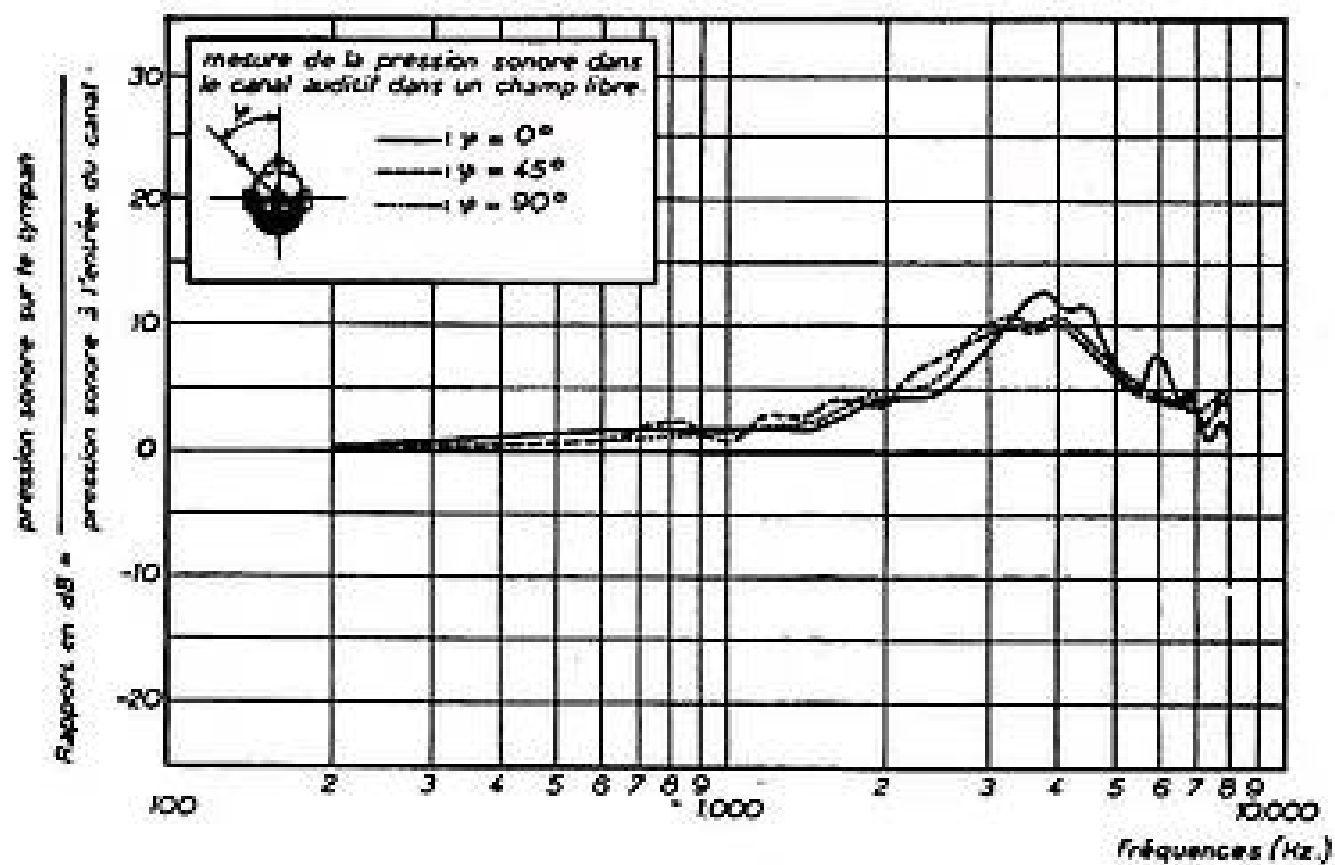


FIG. 6 — Écarts entre les pressions sonores mesurées à l'entrée du canal auditif et le tympan lorsque le son est produit à l'aide d'un haut-parleur, d'après Wiener et Ross.

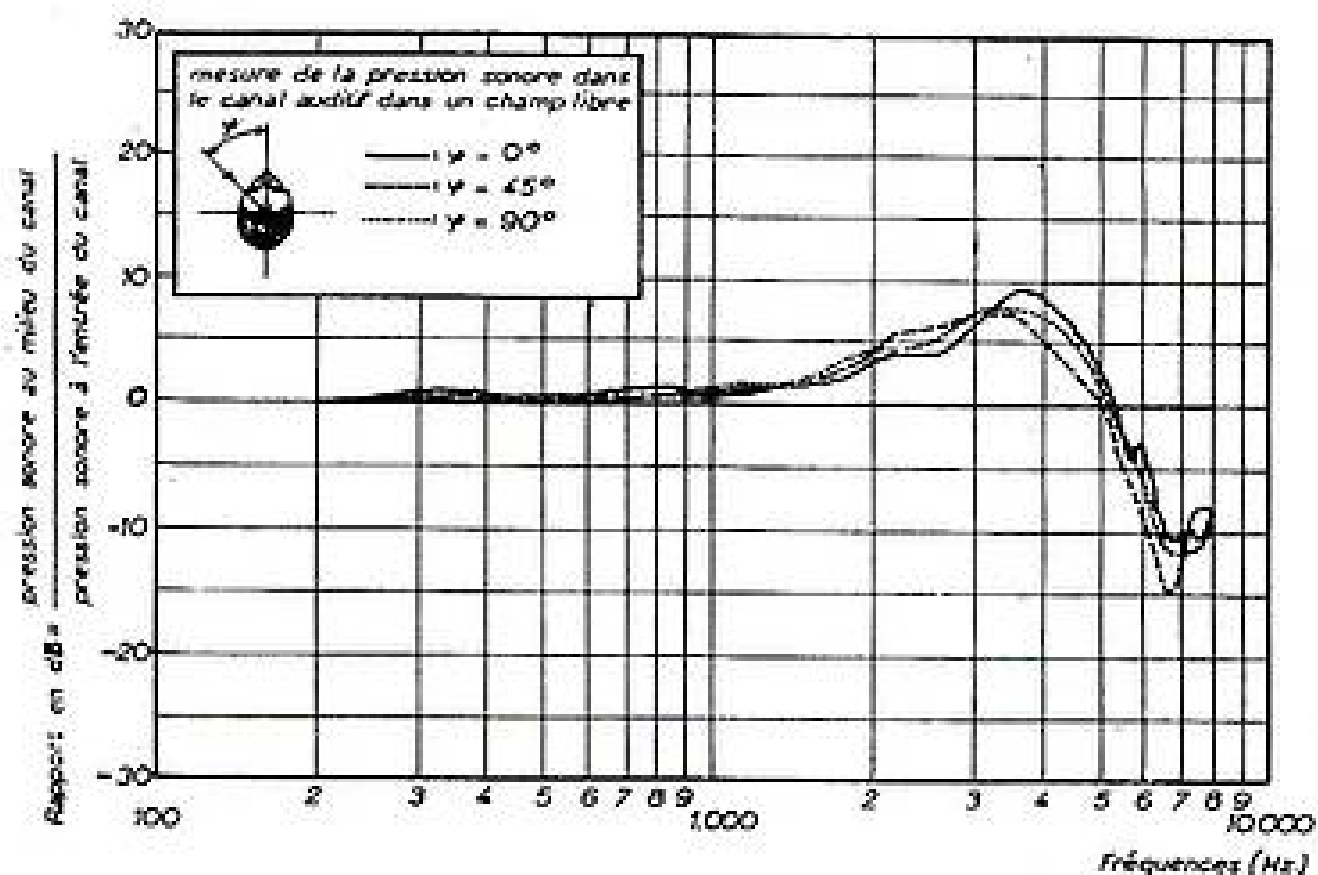


FIG. 7 — Écarts entre les pressions sonores mesurées entre l'entrée du canal auditif et un point situé à mi-distance entre l'entrée de ce canal et le tympan, d'après Wiener et Ross.

De plus, il ne faut pas oublier que lors d'un tel essai on prend généralement un seuil binauriculaire et non un seuil monoauriculaire ; dans ce dernier cas, il faudrait boucher une oreille, ce qui demande certaines précautions et ce que critiquent certains médecins et physiologistes. Comme pour les seuils relevés avec des écouteurs (figure 2), les résultats obtenus par divers auteurs utilisant la méthode du haut-parleur diffèrent sensiblement les uns des autres, comme le montre la figure 5. Les différences obtenues entre les divers expérimentateurs peuvent s'expliquer, d'ailleurs, dans une certaine mesure,

pour les raisons suivantes, également valables pour le cas précédent :

- conditions d'essais non absolument identiques,
- âge des sujets non comparable,
- nombre d'oreilles testées non semblable.

Enfin, il ne faut pas omettre, comme nous l'avions signalé à la fin du dernier paragraphe, l'importance du canal auditif dans la transmission des sons jusqu'à la membrane tympanique. WIENER et ROSS [6] ont nettement mis en évidence cette influence et la

figure 6 montre, d'après ces auteurs, les écarts de pressions sonores entre l'entrée du canal auriculaire et le tympan ; la figure 7 montre, d'après les mêmes auteurs, les écarts de pressions entre l'entrée du canal et un point situé à mi-distance entre le tympan et l'entrée de ce canal.

Il ressort de ces diverses figures :

— que l'orientation de la tête par rapport à la source sonore ne doit pas être négligée,

— que la pression sonore sur le tympan est toujours plus forte que celle existant dans le champ libre, en l'absence du sujet. Au-dessous de 1 500 Hz, la différence reste inférieure à 5 dB, tandis qu'elle atteint 15 à 20 dB aux environs de 3 000 Hz, selon l'angle d'écoute. Elle décroît ensuite pour devenir négligeable pour un angle de 0° (sujet face à la source) pour la fréquence 8 000 Hz, alors qu'à cette

de donner quelques résultats pratiques, quoique différentes de principe, utilisent un appareillage en partie analogue. Si on les comparait d'un point de vue purement physiologique, on devrait obtenir entre les seuils monoauriculaires (écouteur) et les seuils binauriculaires (haut-parleur), abstraction faite de toute considération d'ordre physique et expérimental, des différences assez faibles. CHAVASSE et CAUSSE [10], qui ont exécuté leurs essais avec des écouteurs, ont obtenu des différences de l'ordre de 2 dB à 10 000 Hz et de 3,5 dB à 100 Hz. D'autres auteurs, auparavant, avaient déjà obtenu des résultats analogues, mais alors que certains pensaient qu'il n'y avait qu'une différence négligeable entre ces deux seuils [11], d'autres avaient obtenu des écarts de l'ordre de 6 dB à la fréquence 800 Hz [12]. Les conditions d'essais, dans ce genre d'expérimentation, jouent un rôle prépondérant, mais il

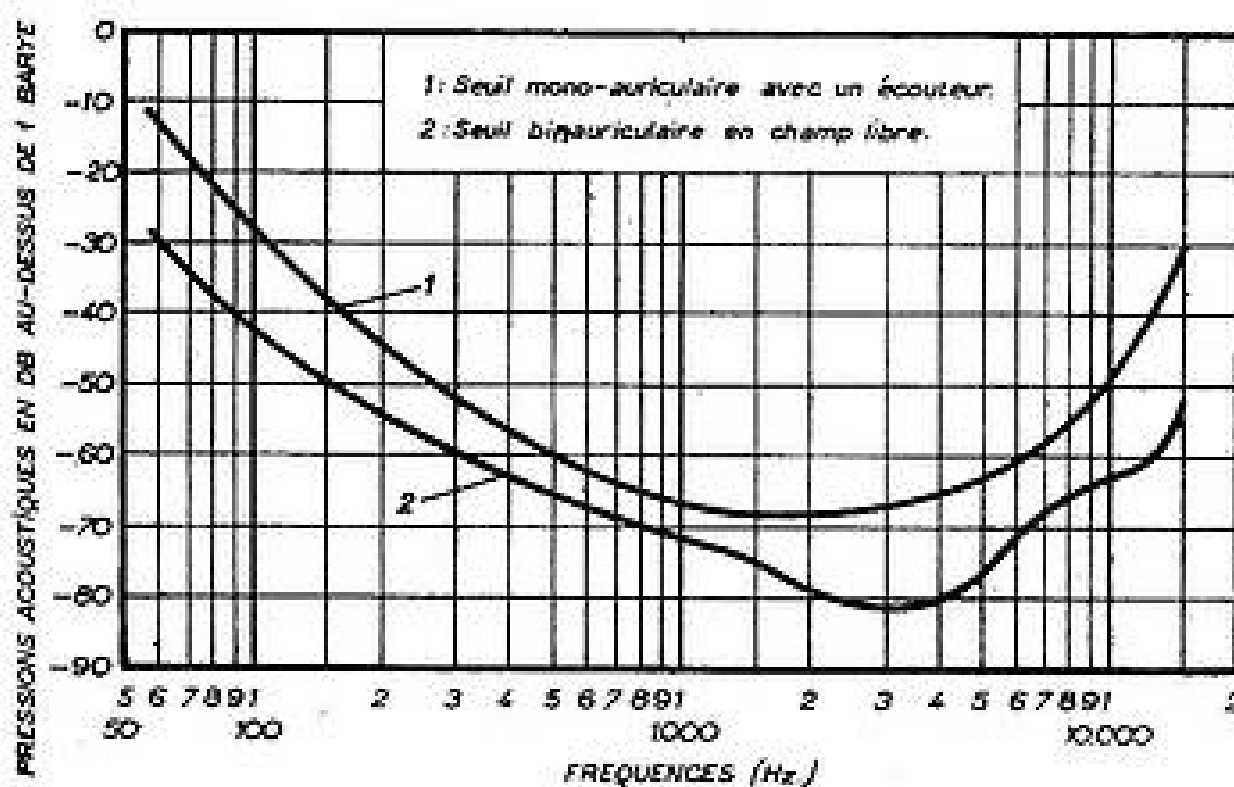


FIG. 8 — Écarts moyens entre les seuils monoauriculaires (avec écouteurs) et les seuils binauriculaires (avec haut-parleur).

même fréquence elle atteint encore 12 dB pour un angle de 90° (sujet ayant l'oreille face à la source), ce qui montre qu'outre l'effet de diffraction de la tête, intervient également l'effet de résonance du canal auditif.

— que la pression sonore est toujours plus élevée sur le tympan qu'à l'entrée du canal auditif. Jusqu'à 2 000 Hz, les écarts restent inférieurs à 5 dB, mais ils atteignent 10 dB aux environs de 4 000 Hz pour décroître ensuite. Dans ce cas, l'angle d'écoute ne semble pratiquement pas intervenir, ce qui se conçoit, d'ailleurs, a priori,

— que la pression sonore est plus élevée en un point situé à mi-distance entre l'entrée du canal auriculaire et le tympan qu'à l'entrée de ce canal, pour les fréquences inférieures à 5 000 Hz, tandis qu'au-dessus le phénomène inverse se produit avec un maximum aux environs de 7 000 Hz, ce qui semblerait indiquer l'existence d'un nœud de pression, à cet endroit, dans le canal auditif.

c) Comparaison entre les deux méthodes.

Les deux méthodes pour lesquelles nous venons

semble que la différence entre les deux seuils, mesurés respectivement à l'aide d'un puis de deux écouteurs, ne doit pas dépasser 3 dB, quelle que soit la fréquence.

D'un autre côté, si l'on considère la figure 8, on aperçoit entre les courbes 1 (seuil monoauriculaire moyen avec écouteur) et 2 (seuil binauriculaire moyen avec haut-parleur) des différences que les explications physiques dues, tant à la diffraction de la tête qu'au rôle de tuyau bouché du canal auditif [6] [9] [13], n'expliquent pas totalement. Il faut ajouter, cependant, que les deux courbes de cette figure n'ont pas été relevées par les mêmes expérimentateurs, mais représentent des moyennes faites sur les résultats de divers auteurs. En particulier, les procédures employées, l'âge des sujets et l'état des oreilles, n'ont pas toujours été précisés avec netteté ; il est donc très difficile de tirer des conclusions définitives de ces divers travaux.

Il est très intéressant de constater, cependant, que les différences figurant entre les deux courbes de la figure 8 et qui sont relatives à la moyenne de divers essais exécutés avant 1936, se retrouvent encore

dans des expérimentations plus récentes [14], mais elles restent toujours inexplicables, malgré les derniers travaux de MUNSON et WIENER [15], qui ont même trouvé des différences encore plus importantes pour des niveaux supraliminaires.

Les hypothèses, pour expliquer ces écarts, demeurent nombreuses, mais aucune ne peut être considérée comme totalement satisfaisante :

— pression statique différente entre l'oreille externe et l'oreille interne quand l'écouteur est appuyé sur le pavillon et modification du volume du conduit auditif,

— mise en action de certains muscles de l'oreille interne sous l'influence de l'écouteur,

— mode de transmission différent des sons à l'oreille interne, selon que l'on utilise un écouteur ou un haut-parleur,

— influence de ce que l'on appelle le bruit physiologique,

— effet de sensation différent donné par le système nerveux central, selon le mode d'excitation de l'oreille.

Il semble bien que ce soit la forme de l'écouteur, ses impédances électrique et mécanique, la force avec laquelle il est appuyé sur le pavillon de l'oreille et la façon dont il repose sur lui (contact dur ou élastique) qui en sont les causes les plus importantes.

2° LE SEUIL D'AUDITION MOYEN (ZÉRO ABSOLU DES AUDIOMÈTRES).

Les premières tentatives de détermination d'un seuil moyen avec écouteur semblent remonter à 1932 [16] ; elles avaient davantage pour but, semble-t-il, de rechercher les variations d'acuité auditive avec l'âge, que de normaliser un seuil d'audition. En 1933, SIVIAN et WHITE [3] exécutèrent des essais plus précis, mais malheureusement sur un nombre d'oreilles beaucoup trop restreint pour que l'on puisse attribuer une valeur statistique à leurs résultats (14 oreilles). En 1936, BEASLEY [17] fit

de nombreux essais sur plus de 4 000 personnes de tous âges dont 1 200 environ furent considérées comme ayant une ouïe normale ; il obtint ainsi une courbe moyenne qui est mentionnée sur la figure 9, sur laquelle sont également portés les résultats obtenus par les divers expérimentateurs dont nous mentionnons les travaux ici. En 1939-1940, au cours d'une grande foire mondiale tenue à New-York, les « Bell Telephone Laboratories » organisèrent un stand où ils prirent plusieurs dizaines de milliers de seuils auditifs de sujets de tous âges [18]. Les conditions d'essais n'étaient naturellement pas exemptes de toute critique, principalement à cause des bruits résiduels non négligeables existant dans les cabines d'essais ; les résultats obtenus pour des sujets âgés de 20 à 29 ans, sont également portés sur la figure 10. L'examen de cette figure montre que les résultats des essais exécutés en 1932, 1936 et 1940 par les Américains peuvent être considérés, étant donné les conditions expérimentales très diverses, comme sensiblement concordants entre 750 et 3 500 Hz environ (± 4 dB), mais ils sont plus divergents pour les fréquences inférieures à 500 et supérieures à 4 000 Hz où les écarts atteignent ± 7 dB. Par contre, ils sont très différents de ceux obtenus par SIVIAN et WHITE également portés sur la figure 10, à titre comparatif.

Devant les difficultés rencontrées, devant les écarts obtenus par divers auteurs et surtout devant la diversité des types d'audiomètres qui se trouvaient alors sur le marché, l'« American Medical Association » demanda, en 1947, la normalisation d'un zéro absolu aux Etats-Unis. Le problème se compliqua à ce moment, car on voulut, avec raison, ramener les valeurs absolues mesurées sur des oreilles humaines, à des valeurs mesurables sur un coupleur ou sur une oreille artificielle normalisée.

Or, à cette époque, malgré les travaux originaux d'INGLIS et de ses collaborateurs [19], il n'existait pas encore, dans aucun pays, de véritable oreille artificielle : il n'y avait que des coupleurs. De plus, les nombreuses études et mesures exécutées jusqu'alors avaient nettement montré que non seulement l'étalonnage d'un écouteur dépendait de la

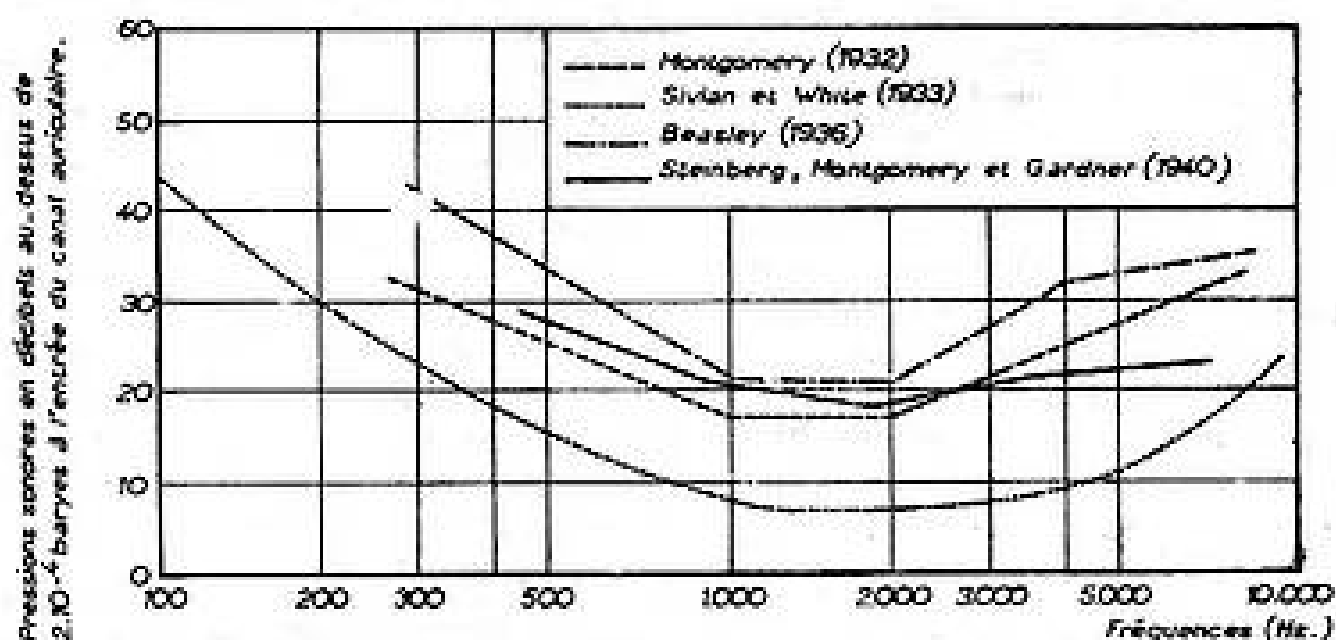


FIG. 9 — Quelques seuils d'audition moyens monoauriculaires obtenus par divers expérimentateurs, à l'aide d'écouteurs.

forme et du volume du coupleur utilisé, mais aussi qu'un coupleur donné satisfaisant pour un type d'écouteurs déterminé n'était pas utilisable avec un autre type d'écouteur. Pour ces raisons, un coupleur de 6 cm³ fut d'abord utilisé aux États-Unis, en 1947 puis, en 1949, le « National Bureau of Standard » normalisa divers types de coupleurs de volume et de forme variés (2 - 5, 7 et 6 cm³) en fonction du type d'écouteur à étalonner [20].

essais plus récents des mêmes auteurs [22], ont montré que ce transfert de pression ne devait en aucune façon être fait sur un coupleur qui ne serait pas une véritable oreille artificielle, même avec des écouteurs dynamiques de très haute qualité, ce qui ne fait que confirmer l'urgence d'une normalisation internationale en ce domaine.

Il faut reconnaître, d'ailleurs, que ce problème n'a pas échappé aux spécialistes de la téléphonie

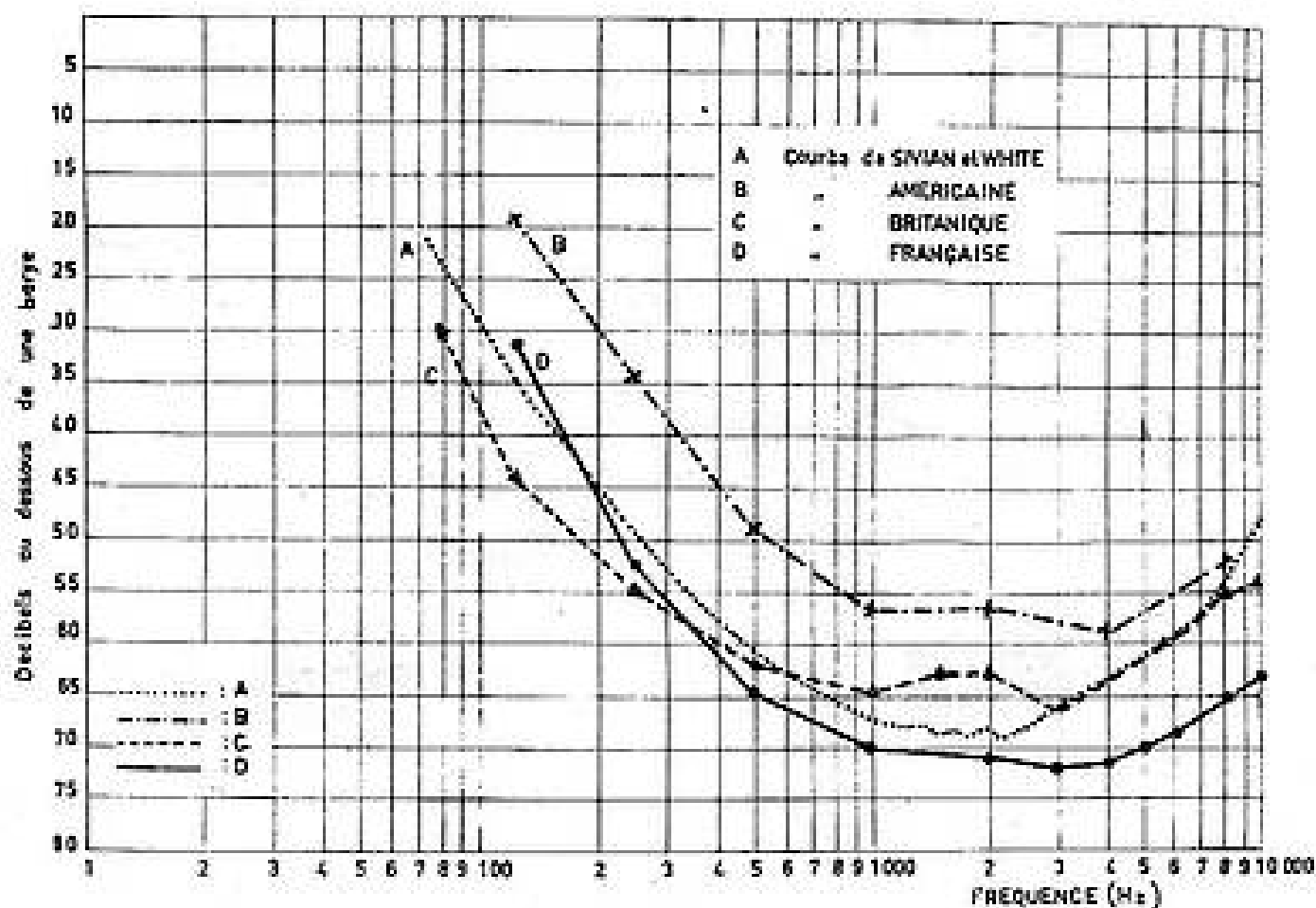


FIG. 10 — Courbes de seuils moyens monoauriculaires normalisés ou proposés dans divers pays, en vue d'une normalisation internationale.

Ce furent principalement les résultats de BEASLEY [17] qui furent utilisés pour définir un seuil moyen normal ; ce seuil fut rapporté au coupleur type N B S 9 A normalisé de 6 cm³ [20] et il fut ensuite adopté comme zéro de référence des audiomètres (courbe B de la figure 10) ; ces valeurs ne sont correctes que pour un écouteur « Western Electric 705 A », mais si un autre type d'écouteur est employé, il n'est plus possible d'utiliser les valeurs de la courbe B de la figure 10 ; c'est bien là le point faible d'une telle normalisation, car le coupleur normalisé ne permet pas, par des mesures purement objectives, de passer d'un type d'écouteur à un autre type ; il est alors absolument indispensable d'exécuter une série de mesures subjectives sur plusieurs personnes, ce qui n'est ni pratique, ni physique.

Récemment, cependant, une méthode objective utilisant une sonde microphonique a été utilisée aux États-Unis pour permettre le transfert de la pression développée par un écouteur donné sur un coupleur à celle développée sur le même coupleur par un autre écouteur [21]. Les résultats obtenus semblent assez encourageants, les écarts entre cette méthode et la méthode subjective dite de « balance » étant de l'ordre des erreurs de mesure possibles (± 2 dB environ) ; les mesures subjectives n'ont malheureusement été effectuées que sur 14 sujets et ont été faites à l'entrée du canal auditif. Cependant, des

qui essaient, depuis 25 ans, de réaliser une oreille artificielle représentant correctement l'impédance acoustique moyenne, tant réelle qu'imaginaire, des oreilles humaines. A cet égard, en Grande-Bretagne, West, dès 1930 [23], réalisa un modèle de qualité qui fut modifié en 1945 par le « National Physical Laboratory » et normalisé en 1953 ; en Suisse, est utilisée une oreille décrite par WEBER en 1946 [24] et modifiée par FONTANELLAZ en 1951 [25], tandis qu'en France est utilisée l'oreille mise au point au Centre National d'Etudes des Télécommunications [26]. La figure 11 donne à titre indicatif, la coupe schématique de l'oreille française. Ces divers coupleurs et oreilles présentent des différences notables, tant en forme qu'en volume ; il ne faut donc pas s'étonner si les valeurs de seuils rapportées à ces divers modèles diffèrent d'un pays à l'autre, ce qui est naturellement très fâcheux.

D'un autre côté, il apparut bien vite que les audiomètres conformes à la norme américaine donnaient des résultats inexacts quelle que soit la fréquence et toujours nettement trop élevés. Des études furent alors entreprises, particulièrement en Grande Bretagne et en France, pour déterminer des seuils d'audition moyens corrects et précis. DADSON et KING [8] d'une part, WHEELER et DICKSON [27] d'autre part, publièrent leurs résultats en 1952, indépendamment les uns des autres ; les valeurs obtenues étaient

cependant très comparables et servirent à l'établissement de la norme britannique actuellement en vigueur.

Les valeurs moyennes adoptées, utilisables uniquement avec un écouteur « Standard Telephone 1026 A », sont également portées sur la figure 10 (courbe C).

En France, des mesures analogues, exécutées suivant une technique pratiquement identique à celle utilisée en Grande Bretagne (seul le point de mesure étant légèrement différent), ont permis également d'aboutir à des valeurs actuellement en cours de normalisation.

— point de mesure différent (à l'extrémité du canal auditif en Grande-Bretagne et dans le plan tangent au pavillon de l'oreille en France),

— bruit de fond des salles d'essais mal défini et différent dans les trois cas (assez important aux Etats-Unis, mais faible en France et en Grande-Bretagne),

— appareillage électroacoustique différent et erreurs possibles dans la détermination des efficacités absolues des microphones étalons et des sondes microphoniques utilisés,

— force d'appui des écouteurs contre l'oreille non identique,

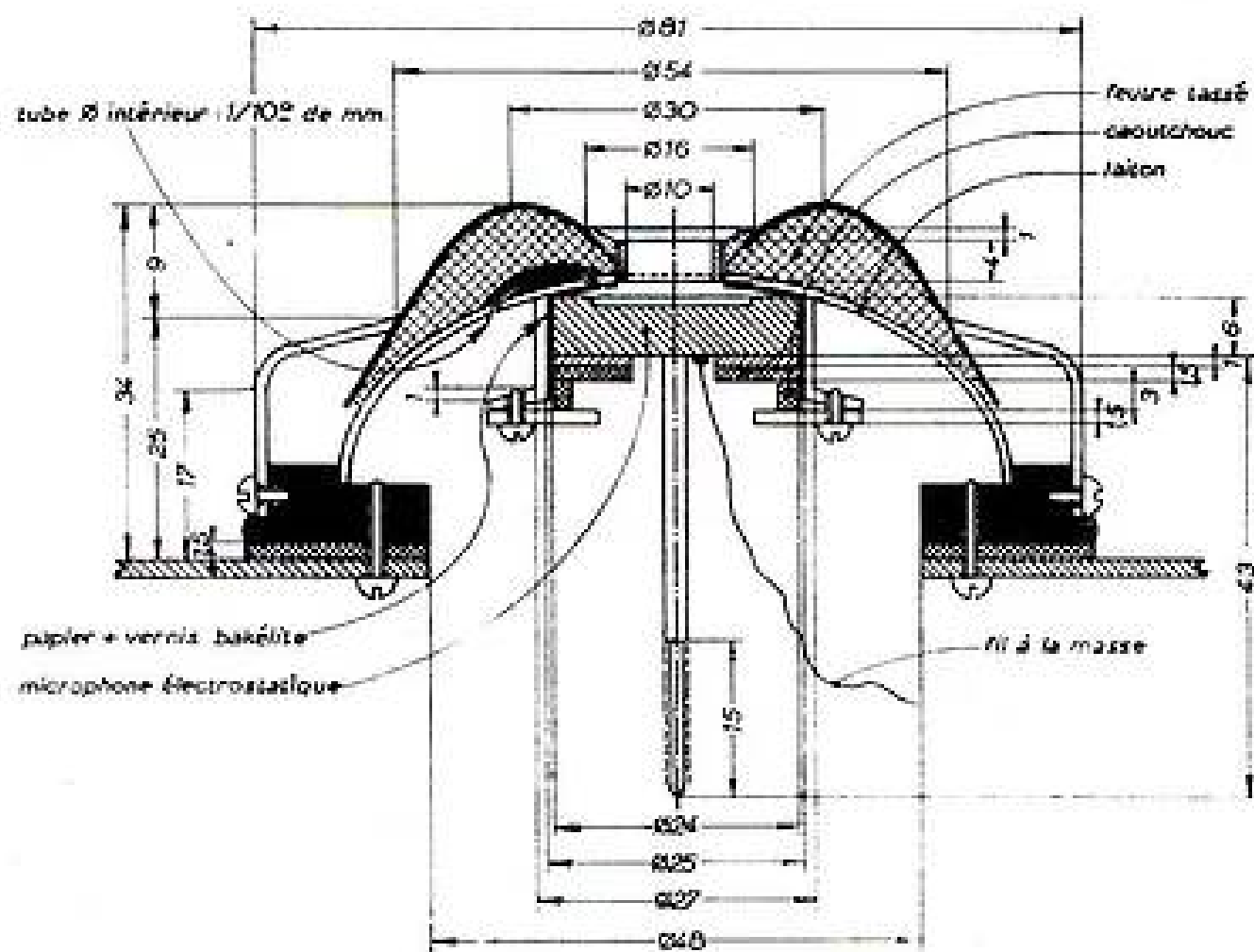


FIG. 11 - Coupe schématique de l'oreille artificielle utilisée en France.

La courbe D de la figure 10 en représente les résultats finaux moyens.

Un examen attentif de la figure 10, sur laquelle sont portées :

— la courbe A proposée par SEVIAN et WHITE en 1933 [3],

— la courbe B normalisée aux Etats-Unis depuis 1951 [28],

— la courbe C normalisée en Grande-Bretagne depuis 1954 [29],

— la courbe D en cours de normalisation en France [30], montre immédiatement l'importance des écarts existant entre les trois normes officielles actuellement existantes (Etats-Unis, Grande-Bretagne et France).

A quoi, principalement, sont dus ces écarts :

— âge différent des sujets examinés et état physiologique non toujours bien défini,

— qualité différente des écouteurs utilisés et impédances mécaniques peut-être mal adaptées à ce genre de mesure [22].

Afin d'arriver à un accord international sur ce point, l'Organisation Internationale de Normalisation (I.S.O.) a mis cette question à l'ordre du jour de sa dernière réunion (Berne : septembre 1955) ; si les autres paramètres entrant dans une normalisation d'audiomètres ne présentent pas de grosses difficultés de principe (fréquences, affaiblisseur, distorsion...), il n'en est malheureusement pas de même pour la valeur absolue des seuils. Il a donc été décidé que des mesures complémentaires devraient être exécutées, en particulier pour déterminer avec précision l'influence possible du point de mesure de la pression sonore. Le problème spécial de l'oreille artificielle devra être traité séparément ; il n'offre, d'ailleurs, dans ce cas, qu'un intérêt secondaire, car la détermination de la pression absolue correspondant au seuil est mesurée directement dans l'oreille humaine au moyen d'une sonde microphonique ou de tout autre dispositif approprié.

A cet égard, il n'est pas inutile de rappeler que l'étalonnage de la sonde utilisée doit être exécuté avec précision, dans des conditions analogues à celles dans lesquelles elle sera employée. En effet, des mesures exécutées par BENSON [31] ont montré que la caractéristique d'une sonde microphonique pouvait varier dans des conditions non négligeables selon qu'elle était utilisée dans une cavité close ou en champ acoustique libre.

3° LE SEUIL OSSEUX.

Les mesures par voie osseuse sont encore plus délicates que les mesures par voie aérienne ; elles demandent souvent plus de précautions et nécessitent naturellement l'utilisation d'un vibreur dont l'étalonnage se révèle extrêmement difficile. Cependant, les mesures d'acuité auditive par voie osseuse sont très importantes pour l'otologiste, même dans une gamme de fréquences restreinte, comme c'est le cas pour la plupart des audiomètres (250-4 000 Hz), car elles lui permettent très souvent de poser un diagnostic relatif au type de surdité.

D'autre part, le mode et l'endroit de fixation du vibreur jouent également un rôle primordial ; enfin, lorsqu'il s'agit d'étudier les seuils d'audibilité de sujets normaux, il semble assez difficile d'obtenir, pour la conduction osseuse, des valeurs stables et les avis sont encore partagés sur le fait de boucher ou non le canal auditif, de la façon de le boucher, ou, tout au moins, sur le mode d'assourdissement de l'oreille. Or, il est également essentiel, pour la normalisation des audiomètres, de définir un seuil osseux moyen, comme nous avons essayé de le faire pour la conduction aérienne, qu'il s'agisse de la conduction osseuse absolue (avec assourdissement ou obturation de l'oreille externe) ou de la conduction osseuse relative (sans assourdissement ni obturation).

Divers auteurs ont essayé de mesurer l'amplitude de la vibration produite par un écouteur osseux au seuil. Ces mesures semblent peu précises et très délicates et les résultats obtenus sont assez différents les uns des autres. Ainsi, KNUDSEN et JONES [32] ont obtenu, à la fréquence 1 000 Hz, une amplitude de l'ordre de $2,7 \times 10^{-8}$ cm, tandis que BEKESY [33] a obtenu, à la fréquence 800 Hz, une amplitude de l'ordre de $3,5 \times 10^{-8}$ cm pour la conduction osseuse relative et de 5×10^{-10} cm pour la conduction osseuse absolue (par obturation du canal auriculaire). Enfin, l'étalonnage des vibreurs pose également des problèmes complexes et, jusqu'à présent, aucune méthode normalisée n'a pu être établie, tant en Europe qu'aux Etats-Unis. Des tentatives furent faites par plusieurs expérimentateurs pour établir des mastoïdes artificielles pouvant être utilisées en ce sens. Ainsi, dès 1939, HAWLEY [34], aux Etats-Unis, réalisa un appareillage qui fut repris et amélioré, d'abord par CARLISLE et MUNDEL en 1944 [35], puis par GREIBACH en 1946 [36]. Ce modèle permettait des étalonnages pour des fréquences comprises entre 100 et 10 000 Hz avec, d'après certains auteurs [37], une approximation de ± 2 dB ; le but n'était pas, d'ailleurs, la détermination d'une amplitude

absolue, mais la recherche de la possibilité de comparer des vibreurs sans avoir recours à des mesures subjectives. Enfin, plus récemment, l'appareillage de mesure fut encore amélioré, particulièrement du point de vue de l'impédance mécanique du système, impédance que l'on désirait obtenir sensiblement égale à celle de la tête [38].

En définitive, il semble encore prématuré actuellement, d'une part de définir et proposer une méthode d'essai objective des vibreurs et, d'autre part, de proposer un seuil osseux moyen correspondant à une oreille moyenne normale. Il est donc nécessaire de continuer à étalonner les audiomètres, pour la conduction osseuse, par des méthodes purement subjectives.

3. Conclusions.

Nous avons voulu, dans ce bref exposé, montrer la complexité du problème posé par la normalisation des audiomètres, mais également son importance et son urgence. Nous avons principalement cherché à faire la mise au point actuelle du problème électroacoustique plus particulier de la définition et de la mesure des seuils d'audition, en vue d'une normalisation internationale. Un gros travail a déjà été fait en ce sens, mais il reste cependant encore beaucoup à faire et il faut souligner que c'est grâce aux nombreux et récents progrès de l'électroacoustique que l'on peut espérer obtenir prochainement des résultats précis qui permettront de résoudre cette importante question.

Nous avons déjà été amenés, en 1953 [39], à étudier un projet de normalisation des audiomètres, à la demande de la Société Internationale d'Audio-logie. Depuis cette époque, le projet a été repris et complété en collaboration avec M. CHAVASSE, ce qui a permis de préparer un document qui a été transmis à l'A.F.N.O.R. à la fin de 1954. Ce document a été alors étudié par la commission spécialisée de cet organisme ; il a été soumis à l'enquête publique qui s'est terminée en février 1956 [30]. Nous pouvons donc espérer avoir une norme nationale officielle en France pour le début de l'été 1956. Elle définira plusieurs paramètres et, en particulier, les suivants :

- tensions et fréquences du secteur d'alimentation,
- échelle des fréquences à utiliser et précision de ces fréquences,
- échelle des intensités et précision de l'affaiblisseur,
- limites extrêmes (maxima et minima) d'intensité à atteindre pour les mesures par voie osseuse et par voie aérienne,
- seuils d'audition absolus par voie aéro-tympanique en décibels au-dessous de 1 barye (courbe D de la figure 11),
- distorsion harmonique maximum autorisée pour chaque fréquence,
- bruit de fond maximum autorisé et niveau de ronflement admissible,

— caractéristiques des écouteurs et vibrateurs et force d'application contre l'oreille et la mastoïde,

— caractéristiques spectrales du bruit blanc utilisé comme bruit de masque,

— caractéristiques électriques de l'interrupteur de tonalité,

— caractéristiques électroacoustiques des dispositifs de mesure de recrutement (test de FOWLER et test de LUSCHER),

— caractéristiques électriques et électroacoustiques des appareils utilisés pour l'audiométrie vocale (microphone, vu-mètre et affaiblisseur).

Toutes les caractéristiques exigées ne sont pas toujours très faciles à obtenir, mais elles sont certainement le gage d'une bonne qualité et nous sommes persuadés que les constructeurs le comprendront aisément. De leur côté, les utilisateurs auront alors, d'une part, la satisfaction d'exécuter des mesures ayant une signification physique précise, et d'autre part, celle de pouvoir aisément comparer leurs résultats, ce qui devrait être, il faut l'espérer, une source de nouveaux progrès dans le domaine immense de l'audiologie.

BIBLIOGRAPHIE

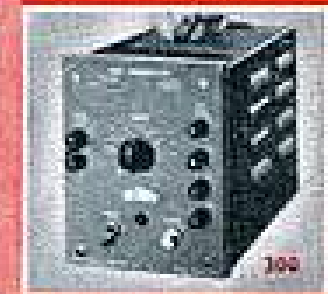
- [1] BUNCH (C.C.). — History of the development of the audiometer (Historique du développement de l'audiomètre). *Laryngoscope*, (déc. 1951), 51, pp. 1100-1112.
- [2] WILSKA (A.). — Eine methode zur Bestimmung der Hörschwellenamplituden des Trommelfelds bei verschiedenen Frequenzen. (Une méthode de détermination de l'amplitude de vibration du tympan, au seuil auditif, à diverses fréquences). *Skand. Arch. Physiol.* (1935), 72, pp. 161-175.
- [3] SIVIAN (L.J.), WHITE (S.D.). — On minimum audible sound fields. (Les champs sonores minima audibles). *J. acoust. Soc. Amer.* (Avr. 1933), n° 4, pp. 288-321.
- [4] STEVENS (S.S.), DAVIS (H.). — Hearing: its psychology and physiology. (L'audition: sa psychologie et sa physiologie). 2^e ed., Wiley, New-York (1947).
- [5] WIENER (F.M.), FILLER (A.S.). — The response of certain earphones on the ear and closed couplers. (Réponses de quelques écouteurs relevées sur l'oreille et sur des coupleurs étanches). Rapport du Psycho-Acoustic Laboratory de l'Université de Harvard (déc. 1945).
- [6] WIENER (F.M.), ROSS (D.A.). — The pressure distribution in the auditory canal in a progressive sound field. (La distribution des pressions dans le canal auditif, dans un champ d'ondes sonores progressives). *J. acoust. Soc. Amer.* (oct. 1946), 18, n° 2, pp. 401-408.
- [7] NICHOLS (R.H.), MARQUIS (R.J.), WIKLUND (W.G.), FILLER (A.S.), FIER (D.B.), VENEKLASEN (P.S.). — Electro-acoustical properties of hearing aids. (Les caractéristiques électro-acoustiques des appareils pour sourds). Rapport de l'Electro-acoustic Laboratory de l'Université de Harvard. 1^{er} mai 1945).
- [8] DANSON (R.S.), KING (J.H.). — A determination of the normal threshold of hearing and its relation to the standardization of audiometers (La détermination du seuil normal d'audition et son utilité pour la normalisation des audiomètres). *J. Laryng. Otol.* (août 1952), LXVI, n° 8, pp. 366-378.
- [9] WIENER (F.M.). — On the diffraction of a progressive sound wave by the human head. (La diffraction d'une onde sonore progressive par la tête humaine). *J. acoust. Soc. Amer.* (Janv. 1947), 19, n° 1, pp. 143-146.
- [10] CAUSSE (R.), CHAVASSE (P.). — Comparaison de seuils auditifs mono et binauriculaires. *C.R. Soc. Biol.*, (mars 1942), 136, pp. 301-302 et 405-406.
- [11] HUGUES (J.W.). — The monaural threshold: effect of a subliminal contralateral stimulus. (Le seuil monoauriculaire: effet d'un stimulus subliminaire contralatéral). *Proc. R. Soc.*, (1938), 142, n° 124, B, pp. 406-420.
- [12] HOLWAY (A.H.), UPTON (M.). — On the psychophysics of hearing. (Sur la psychophysique de l'audition). *Proc. nation. Acad. Sci.* (1938), 24.
- [13] FLETCHER (H.). — Auditory patterns. (Diagrammes d'audition). *Rev. mod. Phys.*, (1940), 12, pp. 47-65.
- [14] MUNSON (W.A.), WIENER (F.M.). — Sound measurements for psychophysical tests. (Mesures acoustiques pour examens psychophysiques). *J. acoust. Soc. Amer.* (mai 1950), 22, n° 3, pp. 382-386.
- [15] MUNSON (W.A.), WIENER (F.M.). — In search of the missing 6 dB. (A la recherche des 6 dB manquants). *J. acoust. Soc. Amer.*, (sept. 1952), 24, n° 5, pp. 498-501.
- [16] MONTGOMERY (H.C.). — Do our ears grow old? (Notre acuité auditive est-elle affectée par l'âge?) *Bell Lab. Res.*, (1932), 10, pp. 311-313.
- [17] BRASLEY (C.W.). — Clinical investigation of hearing in the general population. (Enquête médicale sur les facultés auditives des Américains). National Health Survey-Hearing Studies. Bulletins n° 1, 2, 3, 4 et 5 (1956). The United-States Public Health Service, Washington.
- [18] STEINBERG (J.C.), MONTGOMERY (H.C.), GARDNER (M.B.). — Results of the world fair's hearing tests. (Résultats des essais d'audition de la foire internationale de New-York). *J. acoust. Soc. Amer.* (oct. 1940), 12, n° 2, pp. 291-300.
- [19] INGLIS (A.H.), GRAY (C.H.G.), JENKINS (R.T.). — A voice and ear for telephone measurements (Une voix et une oreille pour les mesures téléphoniques). *Bell sys. Tech. Jour.* Vol. 11 (1932), pp. 297-317.
- [20] GERANKE (L.), ROMANOW (F.F.), MORRICAL (K.C.), ANDERSON (J.L.), BAUER (B.B.), COOK (R.D.), WHATEN-DUN (W.). — American standard method for the coupler calibration of earphones. (Résumé de la norme américaine Z.24.9.1949 sur l'étalonnage des écouteurs au moyen de « coupleurs »). *J. acoust. Soc. Amer.*, (oct. 1950), 22, n° 5, pp. 602-608.
- [21] CORLISS (E.L.R.), BURKHARD (M.D.). — A probe tube method for the transfer of threshold standards between audiometers earphones (Une méthode utilisant une sonde pour transférer les seuils normalisés entre les écouteurs d'audiomètres). *J. acoust. Soc. Amer.* (sept. 1953), 25, n° 5 pp. 990-993.
- [22] BURKHARD (M.D.), CORLISS (E.L.R.). — The response of earphones in ears and couplers (La réponse des écouteurs sur des oreilles et des coupleurs). *J. acoust. Soc. Amer.* (sept. 1954) 26, N° 5, pp. 679-685.
- [23] WEST (W.). — An artificial ear. (Un modèle d'oreille artificielle). *Post. Off. electr. Engrs. J.* (janv. 1930), 22, pp. 260-263.
- [24] WEBER (H.). — Beitrag zum Aufbau des orthotelephonischen Uebertragungssystems. (Contribution à la réalisation d'un système de transmission orthotéléphonique). *P.T.T. Tech. Mit.*, (avr. 1946), 24, n° 4, pp. 145-149.
- [25] FONTANELLAZ (G.). — Mesures objectives de netteté effectuées sur des appareils téléphoniques. *P.T.T. Tech. Mit.*, (Déc. 1951), n° 12, pp. 3-445466.
- [26] CHAVASSE. — L'oreille artificielle du Centre National d'Études des Télécommunications. *C.R. Acad. Sci.*, (12 avr. 1950), 280, n° 15, pp. 1390-1392.
- [27] WHEELER (L.J.), DIXSON (D.D.). — The determination of the threshold of hearing. (La détermination du seuil auditif). *J. Laryngol. Otol.*, (août 1952), LXXI, n° 18, pp. 379-395.

- [28] American standard specification for audiometers for general diagnostic purposes. (Les spécifications américaines normalisées concernant les audiomètres utilisés pour les diagnostics courants). Norme américaine n° Z.24-6-1951.
- [29] Norme britannique n° B.S. 2497 — 1954, relative aux seuils d'audition normaux pour les sons purs, mesurés à l'aide d'écouteurs.
- [30] Projet de norme française A.F.N.O.R. n° S. 31.001, d'août 1955 : audiomètres.
- [31] BENSON (R.W.). — The calibration and use of probe tube microphones (Étalonnage et utilisation des sondes microphoniques). *J. Acoust. Soc. Amer.* (janvier 1953), 25, n° 1, pp. 128-134.
- [32] KNIPPEN (V.O.), JONES (I.H.). — Bone conduction. (La conduction osseuse). *Arch. Otolaryngol.*, (1931), 13, pp. 489-505.
- [33] BREKKEV (G. von). — Zur Theorie des Hörens bei der Schallabnahme durch Knochenleitung. (Contribution à la théorie de l'audition dans le cas de la perception des sons par conduction osseuse). *Ann. Phys.*, (1932), 13, pp. 111-136.
- [34] HAWLEY (M.S.). — An artificial mastoid for audiophone measurements. (Une mastoïde artificielle pour l'étalonnage des vibreurs). *Bell Lab. Rec.*, (nov. 1959), 18, n° 3, pp. 73-75.
- [35] CARLISLE (R.W.), MUNDL (A.B.). — Practical hearing aid measurements (Mesures pratiques concernant les appareils pour sourds). *J. Acoust. Soc. Amer.* (juill. 1944), 16, n° 1, pp. 45-51.
- [36] GREIBACH (E.M.). — Laboratory method for objective testing of bone receivers and throat microphones. (Méthode de laboratoire pour les essais pratiques des récepteurs à conduction osseuse et des laryngophones). *Electr. Engng.* (avr. 1946), 65, n° 4, pp. 184-186.
- [37] CARLISLE (R.W.), PEARSON (H.A.), WERNER (P.R.). — Construction and calibration of an improved bone conduction receiver for audiometry. (Construction et étalonnage d'un récepteur à conduction osseuse perfectionné pour l'audiométrie). *J. Acoust. Soc. Amer.* (juil. 1947), 19, n° 4, pp. 632-638.
- [38] CARLISLE (R.W.), PEARSON (H.A.). — A strain gauge type artificial mastoid. (Une mastoïde artificielle basée sur le principe des jauges de contrainte, pour l'étalonnage des vibreurs). *J. Acoust. Soc. Amer.* (mai 1951), 23, n° 3, pp. 300-302.
- [39] LEHMANN (R.). — Le problème de la normalisation des audiomètres (*Annales d'oto-laryngologie* (1953). — N° 11, 12, pp. 715-765.

ALLEN B. DUMONT LABORATORIES, CLIFTON, N.J. U.S.A.

OSCILLOGRAPHES A RAYONS CATHODIQUES & ACCESSOIRES DUMONT

DUMONT



APPAREILS HF

TYPE	LARGEUR DE BANDE	GAMME DE BALAYAGE	SENSIBILITE	VITESSE D'ENREGISTREMENT	TENSION SECTEUR
298-F	de 20 cps (2 db)	4 à 4.500 µsec.	0,15 V/cm, crête à crête	11 cm/µsec.	115 V ± 10 % - 50 - 400 cps
298-G	à 10 Mc (2 db)				
299	Continu à 25 Mc (2 db)	0,5 à 1.000 µsec.	100 V/cm, crête à crête		115 - 230 V - 50 cps
301-A	de 10 C à 4 Mc (2 db)	200.000 à 10 µsec.	0,10 V/cm crête à crête		115 V ± 10 % - 50 - 400 cps
323-A	Continu à 10 Mc (3 db)	0,4 sec./cm à 0,04 µsec./cm	40 mV/cm, crête à crête	7 cm/µsec.	115 - 230 V - 50 cps
327	Continu à 5 Mc (3 db)	0,5 sec./cm à 0,4 µsec./cm	100 mV/cm, crête à crête	7 cm/µsec.	115 - 230 V - 50 cps
329-A	Continu à 10 Mc (3 db)	0,6 sec./cm à 20 Mc (12 db)	50 mV/cm, crête à crête	87 cm/µsec.	115 - 230 V - 50 cps
331	Continu à 4 Mc (3 db)	0,35 sec./cm à 8 Mc (13 db)	0,1 V/cm, crête à crête		115 V ± 10 % - cps
332-A	Continu à 18 Mc (3 db)	0,8 sec./cm à 30 Mc (9 db)	0,25 V/cm, crête à crête	87 cm/µsec.	115 - 230 V - 50 cps

APPAREILS BF

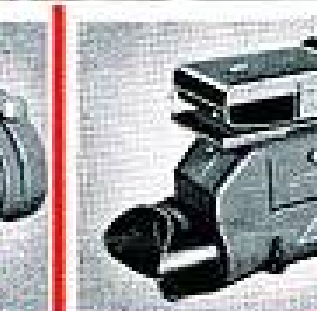
TYPE	LARGEUR DE BANDE	GAMME DE BALAYAGE	SENSIBILITE	VITESSE D'ENREGISTREMENT	TENSION SECTEUR
274-A	de 20 à 200.000 cps (6 db)	8 à 30.000 cps	0,3 V/cm, crête à crête	3,3 mm/µsec.	115 - 230 V - 50 cps
304-A	Continu à 300 Kc (6 db)	2 à 30.000 cps	10 mV/cm, crête à crête	7 cm/µsec.	115 - 230 V - 50 - 400 cps
323-A	Continu à 300 Kc (6 db) (Double faisceau)	2 à 30.000 cps	10 mV/cm, crête à crête	7 cm/µsec.	115 - 230 V - 50 - 400 cps
324	Continu à 300 Kc (3 db)	0,4 sec./cm à 0,4 µsec./cm	0,4 mV/cm, crête à crête	7 cm/µsec.	115 - 230 V - 50 - 400 cps
323	Continu à 300 Kc (3 db) (Double faisceau)	0,4 sec./cm à 0,4 µsec./cm	0,4 mV/cm, crête à crête	7 cm/µsec.	115 - 230 V - 50 - 400 cps
340	Continu à 500 Kc (3 db) (Amplis I et T distincts)	2 à 30.000 cps	10 mV/cm, crête à crête		115 V - 10 % - 50 cps
341	Continu à 500 Kc (3 db) (Amplis I et T distincts)	2 à 30.000 cps	50 mV/cm, crête à crête		115 V - 10 % - 50 cps

ACCESSOIRES

TYPE	APPAREIL	FONCTIONNEMENT	TENSION SECTEUR
300	Marqueur.	Impulsions de 1, 10, 100, 1 K, 10 K µsec; et onde sinusoïdale de 0,1 µsec./cycle.	115 V - 10 % - 50 - 400 cps
326	Générateur d'impulsions retardées.	De 1,5 à 10.000 µsec. à ± 0,1 %.	115 V - 10 % - 50 cps
330	Commutateur électronique continu à 15 Mc.	Fréquence de commutation : 1, 10 ou 100 Kc en ondes carrées ou commandée de 0 à 100 Kc.	115 - 230 V 50-400 cps
332	Alimentation pour transformateur différentiel - Continu à 1 db à 1.000 cps.	Détection; fournit une tension continue proportionnelle au déplacement.	115 - 230 V 50-400 cps
335	Pont pour jauges de contrainte.	En fonction de la jauge de contrainte et connexions d'entrée.	Piles incorporées

CAMERAS D'ENREGISTREMENT

TYPE	DESCRIPTION
295	Camera 35 mm - Objectif f/2,8 corrigé. S'adapte aisément aux Oscilloscopes DUMONT.
298	Vitesse d'enregistrement ultra rapide 500 mm/µ sec.; Objectif f/1,5 - Utilise film de 120 (6 x 9).
299	Conversion rapide en type 302. Peut être équipé avec les objectifs : f/2,8 ou f/1,9. Vitesse 200 mm/µ sec. ou 100 mm/µ sec.
302	Conversion rapide en type 299. Objectif de f/1,9 ou f/2,8, Film Polaroid, type 40 ou 41. Avec f/1,9, vitesse d'enregistrement 20 mm/µ sec.; avec f/2,8, vitesse 10 mm/µ sec.
331-A	Enregistrement continu. Utilise des films ou papiers perforés ou non de 35 mm. en rouleau de 30 ou 45 m. Objectif : f/1,5.



AGENT EXCLUSIF FRANCE ET U. F.

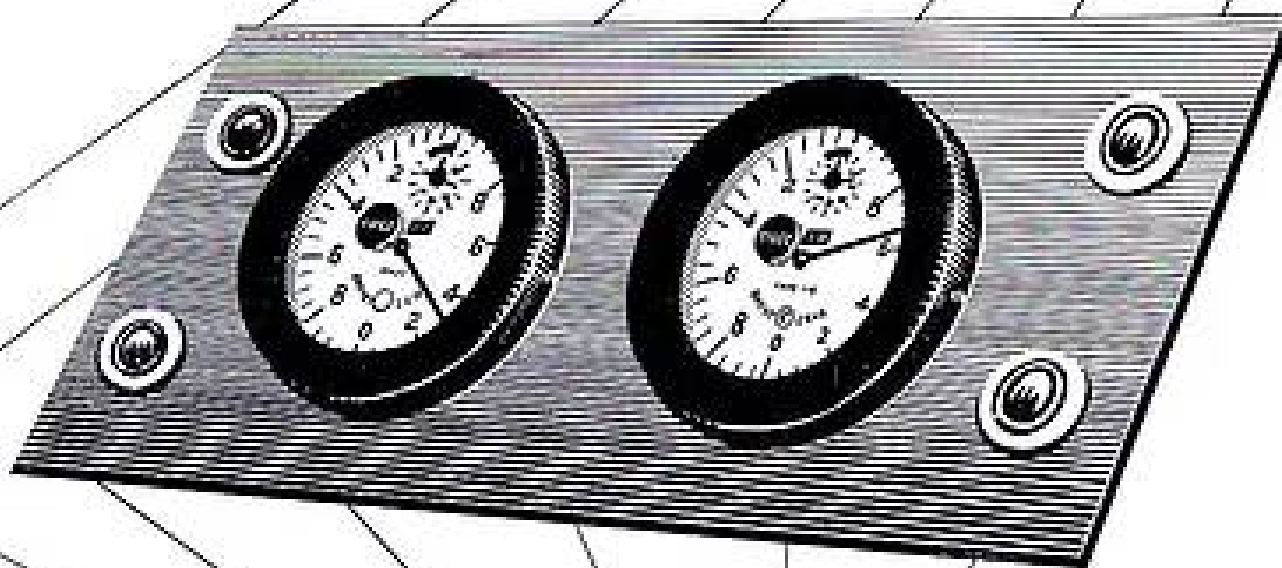
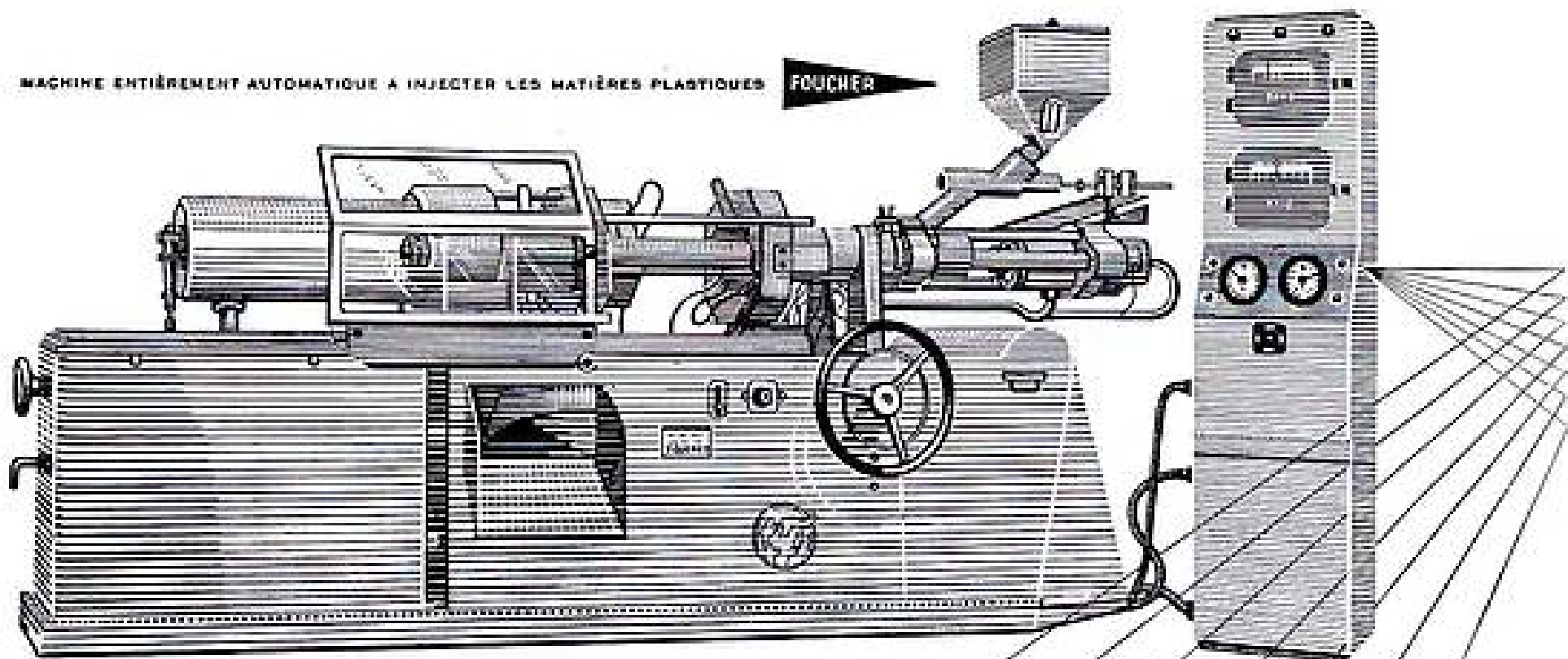
ETS RADIOPHON

50, FAUBOURG POISSONNIERE - PARIS (10^e) - + PRO. 52-03, 04

AUX U.S.A. RADIOPHON CORP. 509 MADISON AVENUE NEW-YORK

MACHINE ENTièrement AUTOMATIQUE A INJECTER LES MATIÈRES PLASTIQUES

FOUCHER



Encore un automatisme assuré par des minuteriers...



CROUZET

VALENCE, 18, RUE JEAN JACQUES ROUSSEAU — TÉL. 37-17
BUREAU A PARIS : 76, AV. DE LA RÉPUBLIQUE — TÉL. VOL. 85-69

PUBLI-SCÉGO - VALENCE