



This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلًا.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.

COMITÉ CONSULTATIF INTERNATIONAL TÉLÉPHONIQUE
C. C. I. F.

XVII^e ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE

GENÈVE, 4-12 OCTOBRE 1954

ANNEXES AU TOME IV

Qualité de transmission
(documentation sur les méthodes de spécification et de mesure)
Appareils téléphoniques

Publié par
L'UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
GENÈVE 1956

COMITÉ CONSULTATIF INTERNATIONAL TÉLÉPHONIQUE
C. C. I. F.

XVII^e ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE

GENÈVE, 4-12 OCTOBRE 1954

ANNEXES AU TOME IV

Qualité de transmission
(documentation sur les méthodes de spécification et de mesure)
Appareils téléphoniques



Publié par
L'UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
GENÈVE 1956

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

**TABLE DES MATIÈRES DU LIVRE D'ANNEXES AU TOME IV
DU « LIVRE VERT »**

	Pages
<i>Annexe 1.</i> — Indice moyen des lignes intermédiaires	5
<i>Annexe 2.</i> — Description sommaire d'une méthode employée par l'Administration britannique des téléphones pour évaluer les indices relatifs de qualité de transmission des systèmes émetteurs locaux et des systèmes récepteurs locaux employant tous les mêmes types de microphone et de récepteur téléphonique	7
<i>Annexe 3.</i> — Réduction de qualité de transmission due au bruit de circuit	17
<i>Annexe 4.</i> — Réduction de qualité de transmission due au bruit de salle	23
<i>Annexe 5.</i> — Etalonnage absolu des systèmes de référence au Laboratoire du C.C.I.F.	25
<i>Annexe 6.</i> — Méthode normalisée aux Etats-Unis d'Amérique pour l'étalonnage des récepteurs téléphoniques sur un coupleur	66
<i>Annexe 7.</i> — Bouche et oreille artificielles utilisées par l'Administration française des téléphones	82
<i>Annexe 8.</i> — Bouche et oreille artificielles utilisées par l'Administration des téléphones de la République fédérale d'Allemagne	95
<i>Annexe 9.</i> — Oreille artificielle utilisée par l'Administration britannique des téléphones	99
<i>Annexe 10.</i> — Bouche et oreille artificielles utilisées par l'Administration suisse des téléphones	104
<i>Annexe 11.</i> — Indicateur de volume du S.F.E.R.T. (Volume Indicator)	120
<i>Annexe 12.</i> — Volumètre de l'A.R.A.E.N. ou voltmètre vocal (speech voltmeter).	122
<i>Annexe 13.</i> — Volumètre normalisé aux Etats-Unis d'Amérique, appelé v.u.mètre	124
<i>Annexe 14.</i> — Modulomètre utilisé par la British Broadcasting Corporation	129
<i>Annexe 15.</i> — Indicateur d'amplitude maximum du type U 21 utilisé dans la République fédérale d'Allemagne	131
<i>Annexe 16.</i> — Essais comparatifs de divers types de volumètres, effectués par l'Administration britannique des téléphones	133
<i>Annexe 17.</i> — Appareil normalisé aux Etats-Unis d'Amérique pour la mesure objective des bruits de salle	137
<i>Annexe 18.</i> — Méthode de réciprocité pour l'étalonnage des microphones à condensateur	148
<i>Annexe 19.</i> — Tracé de la caractéristique de fonctionnement d'un microphone aux diverses fréquences à l'aide de l'audiographe	161
<i>Annexe 20.</i> — Distorsion de non-linéarité des microphones à charbon. (Contribution de l'Administration des téléphones de la République fédérale d'Allemagne).	164

	Pages
<i>Annexe 21.</i> — Appareil pour la mesure objective des équivalents de référence utilisé par l'Administration des téléphones de la République fédérale d'Allemagne	172
<i>Annexe 22.</i> — Appareil pour la mesure objective des équivalents de référence utilisé par l'Administration suisse des téléphones	177
<i>Annexe 23.</i> — Méthode des essais d'appréciation immédiate.	183
<i>Annexe 24.</i> — Méthode employée par l'Administration britannique des téléphones pour une détermination subjective de la qualité de transmission téléphonique	213
<i>Annexe 25.</i> — Méthode d'évaluation de la qualité de transmission, sur la base de mesures objectives, employée par l'Administration suisse des téléphones	220

ANNEXE 1

INDICE MOYEN DES LIGNES INTERMÉDIAIRES

Une ligne intermédiaire peut être considérée comme un quadripôle inséré entre l'impédance du premier circuit interurbain, vue à travers les organes de la table interurbaine ou de l'autocommutateur interurbain, et l'impédance du système local (pont d'alimentation + ligne d'abonné + appareil d'abonné).

Pour une fréquence donnée, la perte introduite par une telle ligne est alors représentée par son « affaiblissement composite * qui est la somme de l'affaiblissement sur images de la ligne elle-même et d'autres termes représentant tous les effets dus aux réflexions introduites par la désadaptation entre l'impédance sur images de la ligne et les impédances des terminaisons telles qu'elles sont définies ci-dessus.

D'après les travaux de l'Administration britannique, l'indice correspondant aux réflexions peut être représenté par la moyenne arithmétique des pertes par réflexions mesurées aux fréquences 500, 1 000, 2 000 et 3 000 Hz.

D'autre part, l'indice de qualité de transmission d'une ligne non pupinisée est mesuré par son affaiblissement sur images à 1 500 Hz et un tel affaiblissement est sensiblement égal à la moyenne arithmétique des affaiblissements sur images aux quatre fréquences précitées **.

En conséquence, on peut obtenir directement l'indice de la ligne intermédiaire, comprenant à la fois l'effet dû à son affaiblissement sur images et l'effet dû aux réflexions, en faisant la moyenne arithmétique des affaiblissements composites mesurés aux quatre fréquences susdites.

Etant donné que l'impédance des systèmes locaux est une grandeur très variable, on ne peut pas définir une valeur unique de l'indice moyen pour une ligne intermédiaire, mais seulement une valeur moyenne obtenue en faisant la moyenne arithmétique de plusieurs valeurs de l'indice, mesuré dans plusieurs conditions terminales (voir « C.C.I.F. — 1952/1954, 4^{me} C.E. — Document n° 32 », Annexe).

* En pratique, au lieu d'employer l'affaiblissement composite, on peut employer l'affaiblissement d'insertion.

** L'affaiblissement d'un circuit en câble non pupinisé est proportionnel à la racine carrée de la fréquence. Les fréquences 500, 1 000, 2 000, 3 000 Hz se trouvent entre elles dans les rapports 1, 2, 4, 6 et leurs racines carrées dans les rapports 1, 1,41, 2, 2,45 dont la moyenne arithmétique est 1,72, c'est-à-dire à peu près la racine carrée de 3 ; en conséquence, cette moyenne correspond à une fréquence $3 \times 500 = 1\ 500$ Hz.

Pour chaque type de ligne intermédiaire (défini par les caractéristiques électriques de la ligne), l'indice moyen est proportionnel à la longueur de la ligne, le coefficient de proportionnalité pouvant être *aisément défini* lorsqu'on dispose de trois ou quatre valeurs de l'indice susdit. Cette fonction a la forme :

$$i = K \times L \quad (1)$$

où

i = indice moyen en népers ou décibels

L = longueur de la ligne intermédiaire en kilomètres

K = coefficient qui dépend du type de la ligne intermédiaire considérée en népers par kilomètre ou en décibels par kilomètre.

Pour déterminer, une fois pour toutes, les différentes valeurs du coefficient K , on pourrait mesurer l'affaiblissement composite de trois ou quatre longueurs différentes de chacun des types de lignes intermédiaires utilisés dans un réseau particulier (éventuellement représentées par des lignes artificielles) ; à cet effet, on pourra employer la technique décrite dans le document 32 précité (voir aussi l'Annexe 2 à la Question n° 10 dans le tome I *ter* du *Livre Jaune* du C.C.I.F., page 400) et une des méthodes de mesure de l'affaiblissement composite décrites dans le *Livre d'annexes* au tome III du *Livre Vert*, 2^{me} partie, section 1.1.1.

La relation (1) permet ensuite de calculer la valeur de l'indice moyen pour toute longueur et tout type de ligne intermédiaire entrant dans la constitution du réseau national considéré.

ANNEXE 2

DESCRIPTION SOMMAIRE D'UNE MÉTHODE EMPLOYÉE PAR L'ADMINISTRATION BRITANNIQUE DES TÉLÉPHONES POUR ÉVALUER LES INCIDES RELATIFS DE QUALITÉ DE TRANSMISSION DE SYSTÈMES ÉMETTEURS LOCAUX ET DE SYSTÈMES RÉCEPTEURS LOCAUX EMPLOYANT TOUS LES MÊMES TYPES DE MICROPHONE ET DE RÉCEPTEUR TÉLÉPHONIQUE

1. L'Administration britannique évalue la qualité de transmission de systèmes de transmission locaux, par comparaison avec la qualité de transmission d'un système étalon de travail spécifié. Tous les « indices relatifs de qualité de transmission » sont exprimés par rapport à cet étalon de travail. Ce système étalon de travail a été choisi de façon à constituer un exemple typique de la pratique généralement suivie et il a des valeurs d'équivalent de référence (à l'émission et à la réception) égales aux limites admises dans le réseau britannique. Ce système étalon de travail est défini par la figure 1 ci-après et la légende de cette figure.

2. Quand on a déterminé certaines relations fondamentales, comme il est indiqué au § 3 ci-après, en employant des « éléments typiques » du réseau téléphonique local, on calcule les « indices relatifs » à l'aide de ces relations et des résultats de mesures objectives (électriques). On entend par « éléments typiques », des éléments dont on sait que les caractéristiques représentent la moyenne des caractéristiques d'éléments en service et l'on ne considère ici que l'évaluation des « indices relatifs » de systèmes téléphoniques composés de tels « éléments typiques ». On peut évaluer par cette méthode les variations d'« indice relatif » dues à des différences entre les efficacités respectives d'éléments *de même type*, mais cette méthode ne sert pas à évaluer directement des « indices relatifs » pour comparer des systèmes téléphoniques utilisant des types différents de microphone ou de récepteur téléphonique.

Pour certaines catégories de mesures objectives de comparaison (par exemple, quand les systèmes à comparer présentent des variations d'efficacité, en fonction de la fréquence, d'un aspect général semblable, sans pointes aiguës et sans effets de coupure), on détermine un indice caractérisé par une seule valeur numérique, d'après des mesures effectuées aux quatre fréquences 500, 1 000, 2 000 et 3 000 Hz, en prenant la moyenne arithmétique des valeurs en décibels mesurées pour chacune

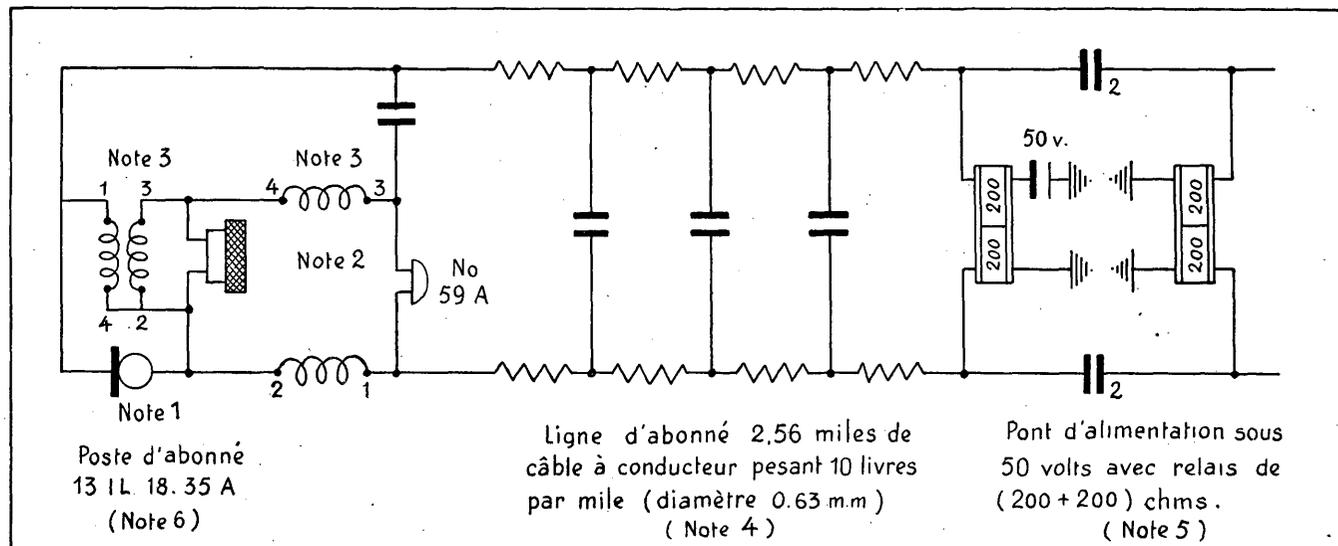


FIGURE 1. — *Système étalon de travail représentant la limite admissible pour l'indice de qualité de transmission d'un système téléphonique local*

- Note 1:** Capsule microphonique n° 13 placée sur le combiné TELE 164.
— Résistance du microphone (en fonctionnement) : 66 ohms.
— Courant d'alimentation microphonique : 40 mA.
— Equivalent relatif du microphone (moyenne des microphones livrés) : +1,5 db par rapport à l'étalon de l'Administration britannique.
- Note 2:** Récepteur I L placé sur le combiné TELE 164.
— Equivalent relatif du récepteur (moyenne des récepteurs livrés) : 0 db par rapport à l'étalon de l'Administration britannique.
- Note 3:** Bobine d'induction n° 18 et transformateur 35 A, tous deux conformes aux étalons de l'Administration britannique.
- Note 4:** Ligne d'abonné, résistance de boucle : 450 ohms.
— Capacité : 0,075 μ F/mile (1 mile = 1609 m).
— Affaiblissement 2,05 db/mile (moyenne des valeurs obtenues pour les câbles utilisés en réalité, courant en ligne 55 mA).
- Note 5:** Le système est relié à une ligne auxiliaire moyenne.
- Note 6:** Bruit de salle à spectre continu (produit à la fois aux extrémités émettrice et réceptrice), ayant un spectre rendu conforme (au moyen d'un réseau filtrant) à celui qui a été décrit par Hoth (*Journal of the Acoustical Society of America*, avril 1941) et un niveau de 60 décibels mesuré avec un sonomètre américain conforme à la norme « American tentative standard specification » Z 24.3.1936.

de ces fréquences. Une indication précise des mesures auxquelles cette méthode s'applique est donnée ci-après par la référence « indice d'après 4 fréquences » (4-frequency rating).

Dans la procédure d'application de cette méthode décrite sommairement ci-après, on se réfère particulièrement au cas de systèmes téléphoniques à batterie centrale ; on peut toutefois suivre aussi cette procédure pour des systèmes à batterie locale, qui en fait constituent des cas plus simples, puisque le courant d'alimentation du microphone est indépendant de la ligne d'abonné utilisée.

3. Relations qu'il est nécessaire de déterminer.

3.1. — Relation entre le courant d'alimentation du microphone et la variation de la résistance de ce microphone sous l'action des sons vocaux.

Pour obtenir cette relation, il est commode d'employer un son soutenu approprié, au lieu de sons vocaux, pour actionner le microphone. Il peut être désirable d'arrêter l'émission de ce son et d'agiter légèrement le microphone, de temps en temps entre les mesures, afin d'assurer un fonctionnement uniforme du microphone, dans un état imitant les conditions d'utilisation réelle.

3.2. — Relation entre le courant d'alimentation du microphone et la force électromotrice engendrée sous l'action des sons vocaux.

On n'a besoin que de valeurs relatives et il est commode de les déterminer en décibels, par rapport à la valeur de la force électromotrice correspondant au courant d'alimentation du microphone du système étalon de travail, quand on utilise un son soutenu pour imiter les sons vocaux, comme en 3.1.

3.3. — Relation entre l'indice relatif de qualité de transmission d'une ligne d'abonné (non chargée) et sa longueur (ou sa résistance).

On évalue cet indice (pour chaque type de ligne d'abonné en service) comme étant égal à l'affaiblissement nominal, à 1 600 Hz, de la longueur de ligne considérée.

3.4. — Variation de l'indice relatif de qualité de transmission (à la réception) due à la variation de l'effet local, avec un bruit de salle de 60 décibels.

Pour obtenir cette relation, il est nécessaire d'effectuer des essais subjectifs, par exemple par la technique des A.E.N. Il y a diverses façons possibles d'effectuer ces essais ; l'Administration britannique a employé la méthode suivante :

On a réalisé un montage électrique qui permettait de faire varier l'effet local des quatre postes téléphoniques placés à l'extrémité réceptrice du système soumis à des essais de netteté, sans modifier la voie de réception de ces postes téléphoniques. Ceci a été obtenu en insérant dans le circuit microphonique de chacun de ces postes téléphoniques (avec les précautions appropriées pour présenter des impédances d'entrée et de sortie ayant des valeurs correctes) un dispositif comprenant un affaiblisseur et un amplificateur. On pouvait alors augmenter ou diminuer l'efficacité de la voie d'effet local d'une quantité connue, par rapport à la condition d'effet local correspondante pour le système étalon de travail, et l'on a fait des mesures d'A.E.N. dans un large intervalle de variation de l'équivalent de référence de l'effet local.

3.5. — Variation de l'indice relatif de qualité de transmission (à l'émission) due à une variation de l'effet local.

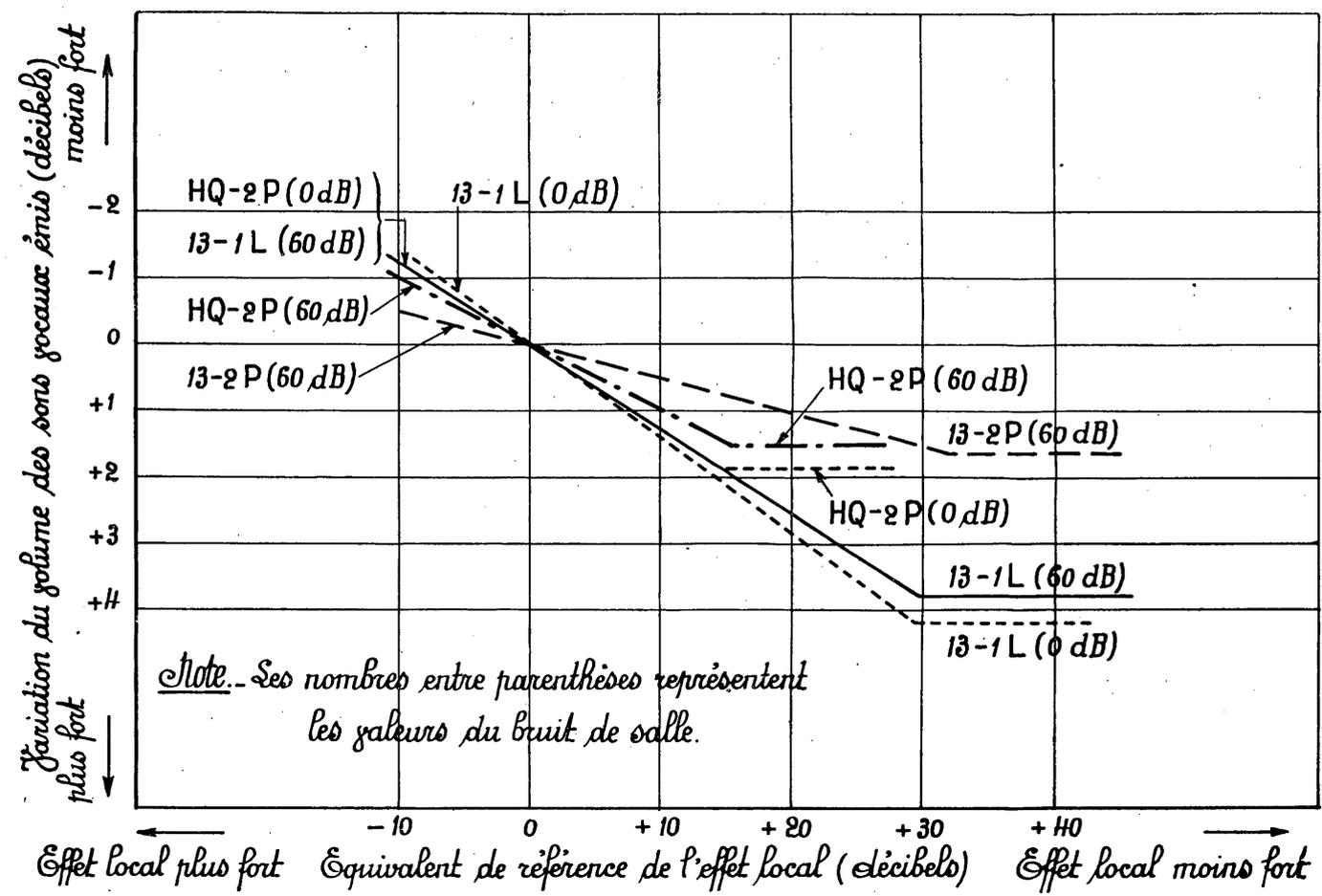


FIGURE 2. — Variation du volume des sons vocaux émis en fonction de l'équivalent de référence de l'effet local (Renseignements fournis par l'Administration britannique des téléphones)

On a fait des essais au moyen d'un volumètre du type britannique (speech voltmeter) — voir l'Annexe 12 du Livre d'annexes au tome IV du *Livre Vert*, pp. 122-123 — branché en dérivation sur le système téléphonique. On a utilisé les courants vocaux correspondant à une conversation téléphonique normale et l'on a fait varier l'efficacité de la voie d'effet local au moyen d'un dispositif comprenant un affaiblisseur, un amplificateur et un récepteur séparé, qui remplaçait le récepteur de l'appareil téléphonique considéré.

On ne peut mesurer cet effet que par des essais où plusieurs sujets jouent le rôle de la personne qui parle.

Les courbes de la figure 2 ci-contre montrent les effets (sur le volume des sons vocaux émis) de l'équivalent de référence de l'effet local, pour une variété d'appareils téléphoniques dans des conditions silencieuses et aussi en présence d'un bruit de salle de 60 décibels. Ces courbes sont applicables à des conditions de conversation sensiblement meilleures que la limite admissible au point de vue de la transmission.

Les capsules utilisées étaient les suivantes :

- a) Capsule microphonique n° 13 (microphone normalisé du Post Office britannique).
- b) Microphone à bobine mobile de haute qualité monté sur un manche normal (désigné par HQ dans la figure 3 ci-après).
- c) Capsule réceptrice 1 L (récepteur du type ancien du Post Office britannique avec une pointe de résonance).
- d) Capsule réceptrice 2 P (récepteur du type nouveau du Post Office britannique, avec une caractéristique « efficacité-fréquence » uniforme).

Remarque. — D'autre part, la Chile Telephone Company a présenté au C.C.I.F. les données numériques, concernant l'influence de l'effet local à l'émission sur le volume des sons vocaux émis, représentées par la courbe de la figure 3 ci-après.

4. *Grandeurs intervenant dans les calculs.*

Il est commode d'établir des listes ou tableaux montrant séparément les grandeurs suivantes, qui interviennent dans les calculs :

- A Longueur de la ligne d'abonné,
- B Courant d'alimentation du microphone,
- C Influence du courant d'alimentation (db),
- D Indice relatif de qualité de transmission correspondant à l'affaiblissement de la ligne d'abonné (db),
- E₁ Efficacité relative de transmission électrique pour le poste téléphonique et le pont d'alimentation, à l'émission (db),
- E₂ Efficacité relative de transmission électrique pour le poste téléphonique et le pont d'alimentation, à la réception (db),
- E₃ Efficacité relative de transmission électrique pour l'effet local dans le poste téléphonique (db),
- F Valeur relative du niveau d'effet local (db),
- G₁ Influence de l'effet local sur l'indice de qualité de transmission à l'émission (db),

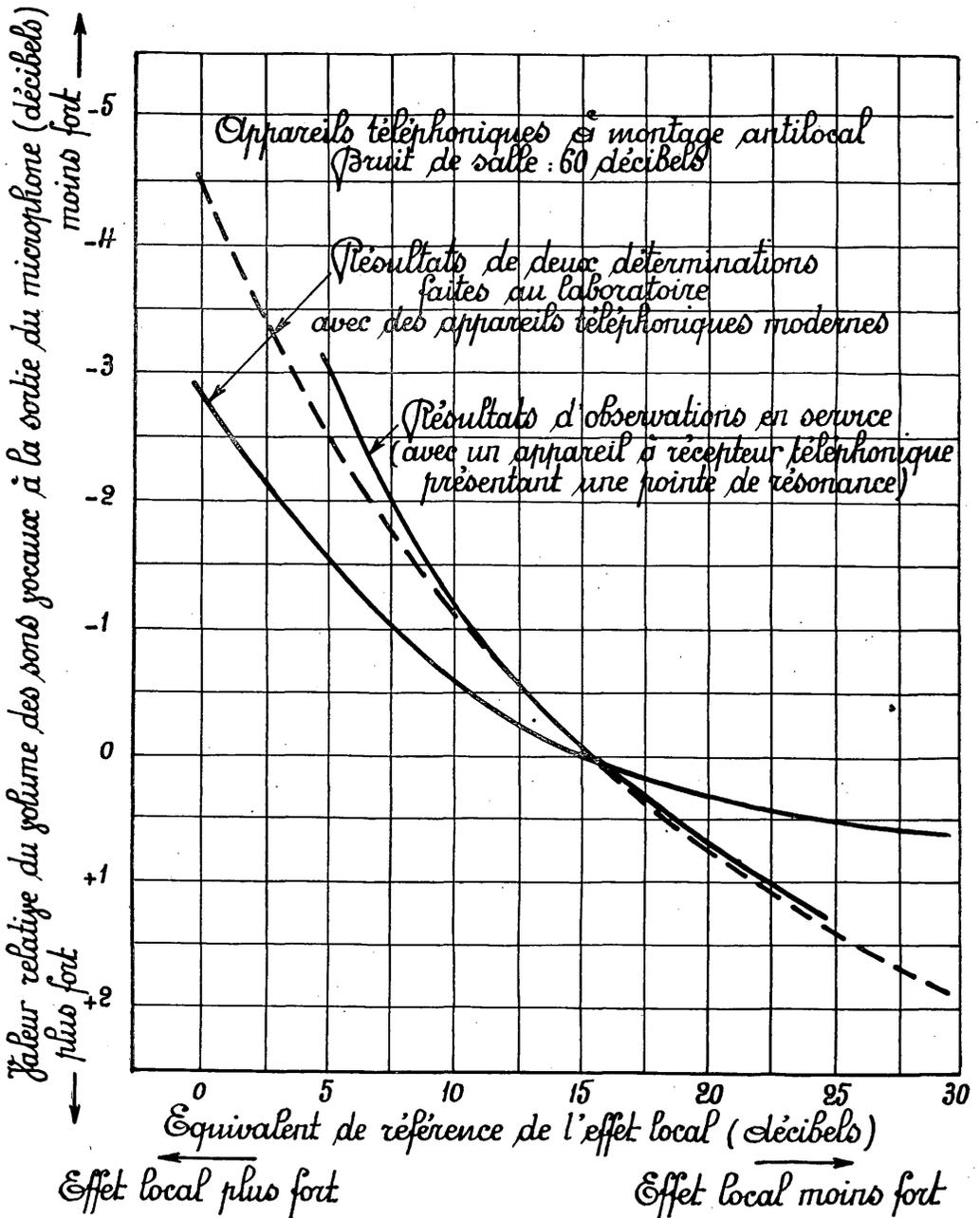


FIGURE 3. — Variation du volume des sons vocaux émis en fonction de l'équivalent de référence de l'effet local

(Renseignements fournis par la Chile Telephone Company)

- G_2 Influence de l'effet local sur l'indice de qualité de transmission à la réception (db),
 H_1 Indice relatif de qualité de transmission à l'émission (db),
 H_2 Indice relatif de qualité de transmission à la réception (db).

5. *Indices relatifs de qualité de transmission pour diverses lignes d'abonné.*

On détermine des « indices relatifs » par rapport au système choisi comme étalon de travail. On évalue d'abord les variations d'« indice relatif » correspondant aux seules variations de la longueur de la ligne d'abonné. Un des éléments (le microphone) a une résistance qui varie en fonction du courant, il est donc commode de choisir les intensités du courant traversant le microphone pour lesquelles on fait le calcul. Tenant compte de la relation (3.1) et connaissant la tension d'alimentation, ainsi que les résistances des autres éléments du circuit d'alimentation, on calcule les longueurs de ligne correspondant à chacune des valeurs d'intensité du courant d'alimentation microphonique choisies. Par suite, pour chacune de ces intensités, on connaît les valeurs de A et B à faire intervenir dans les calculs.

L'effet principal du courant d'alimentation est dû à la variation de la force électromotrice du microphone en fonction de ce courant d'alimentation (relation 3.2). Un effet secondaire, à savoir la variation d'efficacité à l'émission (pour une force électromotrice constante délivrée par le microphone) due à la variation de résistance du microphone, peut être évalué par des mesures électriques et, s'il est appréciable, on peut l'ajouter à l'effet principal pour compléter la valeur de C . On peut effectuer ces mesures électriques en substituant une résistance au microphone, en appliquant à cette résistance une force électromotrice connue et en mesurant la tension au point de connexion entre le poste téléphonique et la ligne, le système téléphonique étant fermé sur une impédance analogue à celle d'une ligne auxiliaire typique. L'influence d'une valeur R de la résistance substituée au microphone, par rapport à la valeur R_0 pour le système étalon de travail est la différence entre les nombres de décibels correspondant respectivement au rapport de la tension à la force électromotrice pour la résistance R et au même rapport pour la résistance R_0 (« indice d'après 4 fréquences »).

En général, il suffit d'appliquer directement la relation 3.3 pour obtenir la valeur de la grandeur D . Ceci revient à admettre que la perte due aux réflexions, au point de connexion entre le poste téléphonique et la ligne, est négligeable. Dans les cas où l'on estime que cette perte due aux réflexions n'est pas négligeable, on peut faire des mesures d'affaiblissement d'insertion avec une ligne artificielle (« indice d'après 4 fréquences ») au lieu de calculer seulement l'affaiblissement de la ligne.

On prend des valeurs indépendantes de la longueur et du type de ligne d'abonné pour les efficacités relatives de transmission électrique à l'émission et à la réception (E_1 et E_2), puisqu'elles ne pourraient varier qu'en raison de pertes par réflexions qui sont incluses, s'il y a lieu, dans l'indice relatif de la ligne d'abonné (\bar{D}). Dans le cas présent, il n'y a pas à considérer de changements de type de poste téléphonique ni de type de pont d'alimentation, de sorte que ces indices relatifs E_1 , E_2 sont nuls.

L'efficacité relative de transmission électrique pour l'effet local (E_3) est la différence entre les nombres de décibels correspondant respectivement au

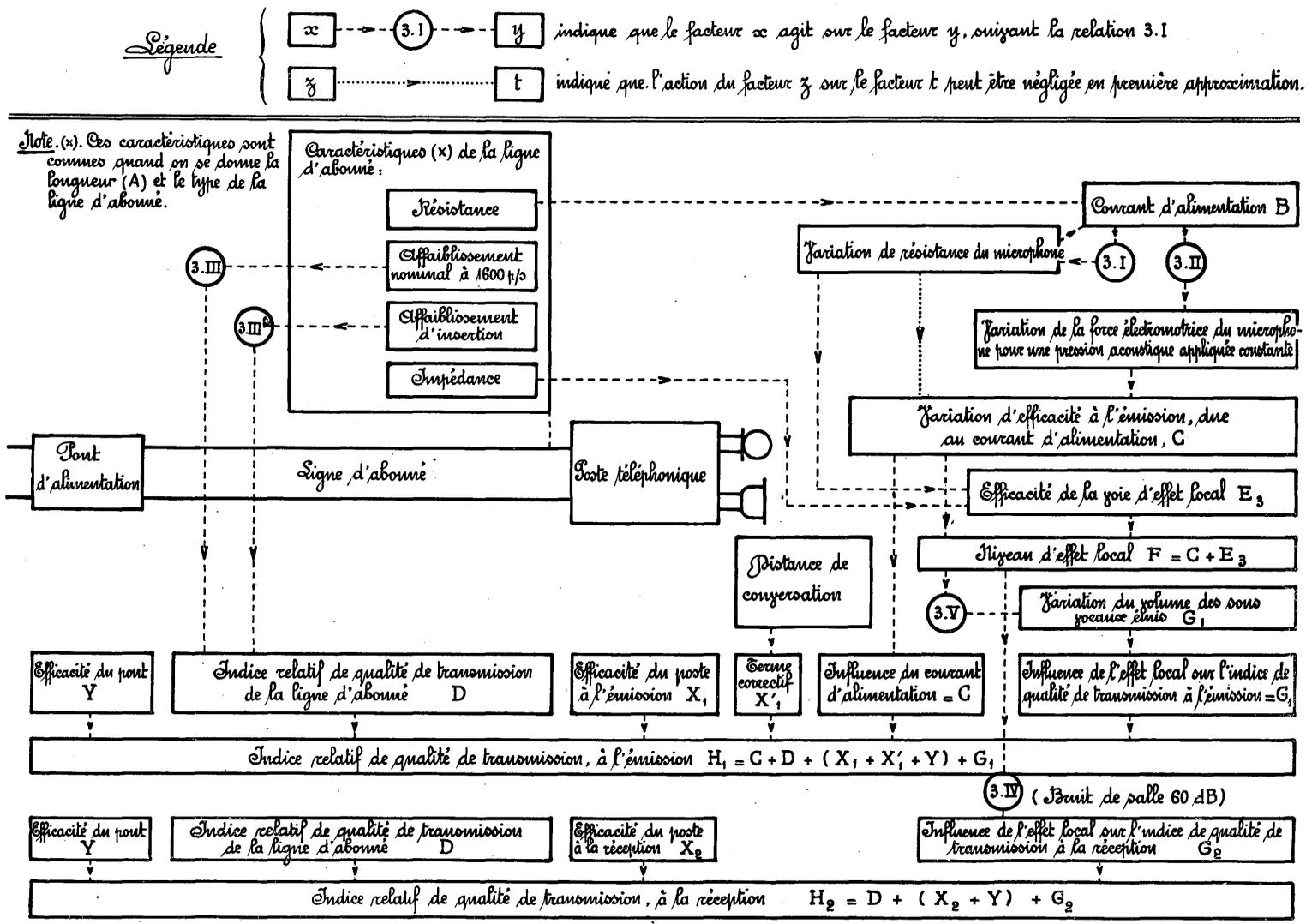


FIGURE 4. — Tableau indiquant les facteurs qui interviennent dans les calculs d'indices relatifs de qualité de transmission

rapport de la tension aux bornes du récepteur à la force électromotrice du microphone pour la longueur et le type de la ligne d'abonné considérée d'une part et au même rapport pour la longueur et le type de la ligne d'abonné du système étalon de travail d'autre part. On peut la déterminer par des mesures électriques (« indice d'après 4 fréquences »), en remplaçant le microphone par des résistances de valeurs appropriées.

La valeur relative du niveau d'effet local (F) est la somme des grandeurs C et E_3 .

L'influence de l'effet local sur l'indice de qualité de transmission à l'émission (G_1) s'obtient à partir de la valeur de F par la relation 3.5. L'influence de l'effet local sur l'indice de qualité de transmission à la réception (G_2) s'obtient à partir de la valeur de F par la relation 3.4.

L'indice relatif de qualité de transmission à l'émission (H_1) est égal à la somme $C + D + E_1 + G_1$ et l'indice relatif de qualité de transmission à la réception (H_2) est égal à la somme $D + E_2 + G_2$. Par suite, on peut tracer des courbes représentant les variations des indices relatifs de qualité de transmission à l'émission et à la réception (par rapport au système étalon de travail), en fonction de la longueur de la ligne d'abonné pour chaque type de ligne considéré, et l'on peut lire sur ces courbes la longueur de la ligne pour laquelle n'importe quelle limite donnée est atteinte.

6. Indices relatifs de qualité de transmission quand on emploie des types différents de poste téléphonique et/ou de pont d'alimentation.

On ne considère que des types de poste téléphonique qui ont des microphones et des récepteurs de même type (c'est-à-dire auxquels s'appliquent les relations énumérées au § 3 ci-dessus). On peut en principe associer, à toute combinaison d'un poste téléphonique et d'un pont d'alimentation qui est différente de celle du système étalon de travail, une ligne d'abonné de longueur et de type choisis arbitrairement pour constituer en fait un étalon secondaire. On peut déterminer (par la méthode décrite au § 5 ci-dessus) des indices relatifs de qualité de transmission (par rapport à cet étalon secondaire) pour cette combinaison particulière d'un poste téléphonique et d'un pont d'alimentation, associée à diverses lignes d'abonné. Il reste à évaluer l'indice relatif de qualité de transmission de l'étalon secondaire, par rapport au système étalon de travail.

La méthode à suivre est encore basée sur les grandeurs énumérées au § 4. Si l'on choisit la longueur de la ligne d'abonné de l'étalon secondaire de façon à obtenir le même courant d'alimentation du microphone qu'avec le système étalon de travail, les grandeurs A , B et C sont déterminées. On détermine la grandeur D comme il est indiqué au § 5 ci-dessus.

Les efficacités relatives du poste téléphonique et du pont d'alimentation, à l'émission et à la réception, comprennent chacune deux termes, l'un relatif au poste téléphonique et l'autre relatif au pont d'alimentation. Pour les besoins de l'exposé, on les désigne ici respectivement par X_1 et Y à l'émission et par X_2 et Y à la réception. On a donc

$$E_1 = X_1 + Y$$

et

$$E_2 = X_2 + Y$$

X_1 est la différence entre les nombres de décibels correspondant respectivement au rapport de la tension au point de connexion entre le poste téléphonique et la ligne, à la force électromotrice du microphone dans le cas de l'étalon secondaire et au même rapport dans le cas du système étalon de travail. X_2 est la différence entre les nombres de décibels correspondant respectivement au rapport de la tension aux bornes du récepteur à la force électromotrice en ligne, dans le cas de l'étalon secondaire, d'une part, et au même rapport dans le cas du système étalon de travail d'autre part.

On peut mesurer ces grandeurs en appliquant une force électromotrice connue et en mesurant la tension, en des points convenablement choisis du système téléphonique, le microphone étant remplacé par une résistance de valeur appropriée (« indice d'après 4 fréquences »). Si la valeur nominale de la distance de conversation (entre les lèvres de la personne qui parle et le microphone) n'est pas la même pour l'étalon secondaire que pour le système étalon de travail, il faut ajouter à X_1 un terme correctif, basé sur des essais à la voix effectués avec deux distances de conversation. Y est la différence (en décibels) entre l'affaiblissement d'insertion du pont d'alimentation du système étalon secondaire et celui du pont d'alimentation du système étalon de travail, quand chacun de ces systèmes est relié à une impédance analogue à celle d'une ligne auxiliaire typique (« indice d'après 4 fréquences »).

L'efficacité relative de transmission électrique pour l'effet local (E_3) est la différence entre les nombres de décibels correspondant respectivement au rapport de la différence de potentiel aux bornes du récepteur, à la force électromotrice du microphone dans le cas de l'étalon secondaire d'une part et au même rapport dans le cas du système étalon de travail d'autre part. On peut aussi la déterminer par des mesures électriques (« indice d'après 4 fréquences »), le microphone étant remplacé par une résistance de valeur appropriée.

On calcule le niveau relatif d'effet local F , comme au § 4, d'après la relation $F = C + E_3$ et l'on détermine aussi les grandeurs G_1 , G_2 , H_1 et H_2 exactement comme au § 5.

ANNEXE 3

RÉDUCTION DE QUALITÉ DE TRANSMISSION DUE AU BRUIT DE CIRCUIT

Le bruit existant dans une communication téléphonique et se manifestant dans le récepteur de l'appareil de l'abonné réduit la facilité avec laquelle les deux correspondants conversent ensemble ; dans le cas des communications à grande distance, une partie importante de ce bruit peut provenir des circuits interurbains ; on peut aussi prendre en considération l'effet des bruits de salle existant à l'extrémité réceptrice de la communication téléphonique (voir l'Annexe 4 ci-après).

Les essais de netteté effectués au Laboratoire du C.C.I.F. ont confirmé qu'on peut utiliser provisoirement en Europe le tableau 1 ci-après pour évaluer la réduction de qualité de la transmission (dans une liaison téléphonique complète entre abonnés) due à la présence (sur cette liaison) de diverses quantités de bruits produits sur le circuit interurbain et correspondant à une force électromotrice psophométrique mesurée (avec l'ancien psophomètre pour circuits téléphoniques commerciaux spécifié par le C.C.I.F.) dans le central interurbain à l'extrémité de ce circuit interurbain fermé sur une résistance pure de 600 ohms, un transformateur d'adaptation étant éventuellement inséré*. Ce tableau s'applique pour les valeurs usuelles des équivalents de référence spécifiées par le C.C.I.F. (voir le tome IV du *Livre Vert*, section 1.1) ; il correspond au cas le plus intéressant à considérer en ce qui concerne l'effet des bruits induits, c'est-à-dire le cas où un circuit en câble est prolongé par un circuit en fils nus aériens exposé à l'induction de lignes d'énergie électrique voisines et où l'équivalent de référence total de la communication téléphonique est en général élevé. Dans les valeurs de réduction de qualité de transmission dues aux bruits de circuit données par le tableau ci-après :

A. On a compris l'effet d'une petite quantité de bruits de circuit produits dans les lignes locales d'abonnés d'une grande ville ;

* La XIV^e Assemblée Plénière du C.C.I.F. a spécifié une nouvelle courbe du réseau filtrant du psophomètre pour circuits téléphoniques commerciaux (voir le *Livre Vert*, tome IV, section 3.2.3) ; la correspondance entre la tension psophométrique mesurée aux bornes du circuit dans le central interurbain avec ce nouveau psophomètre d'une part et la force électromotrice psophométrique mesurée au même point avec l'ancien psophomètre d'autre part, sera indiquée ultérieurement par le C.C.I.F.

B. On a admis l'existence, à l'extrémité réceptrice de la communication téléphonique, d'un bruit de salle d'intensité moyenne correspondant à 50 décibels au-dessus de 2.10^{-4} barye à 1 000 Hz.

TABLEAU 1

Force électromotrice psophométrique mesurée avec l'ancien psophomètre pour circuits téléphoniques commerciaux du C.C.I.F. et exprimée en millivolts	Réduction de qualité de transmission due au bruit de circuit et exprimée en décibels
< 2,5	0
2,5 à 4,0	1
4,0 à 5,5	2
5,5 à 7,0	3
7,0 à 8,5	4
> 8,5	5

Remarque 1. — Le tableau 1 ci-dessus donne la « réduction de qualité de transmission » dans une communication téléphonique interurbaine due à la présence d'une certaine quantité de bruits de circuit, quantité caractérisée par une lecture faite sur l'ancien psophomètre du C.C.I.F. pour circuits téléphoniques commerciaux, branché à l'extrémité du circuit interurbain. Cette « réduction de qualité de transmission » est l'affaiblissement supplémentaire qu'il faudrait insérer dans le circuit de référence (silencieux) pour avoir les mêmes résultats (au point de vue du service téléphonique) dans les deux cas. En général, on traite la question de l'utilisation pratique des « réductions de qualité de transmission dues aux bruits de circuit » d'une manière analogue à celle des « réductions de qualité de transmission dues à la limitation de la bande des fréquences effectivement transmises » (voir ci-après), c'est-à-dire qu'on emploie pratiquement des échelons de 1 décibel. Comme il est d'ordinaire impossible de prédire la quantité de bruit qui existera sur un circuit avant que ce circuit ne soit établi, on mesure tout d'abord avec le psophomètre l'importance des bruits de circuit existants et l'on attribue au circuit une « réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit » (exprimée en décibels), conformément au tableau 1 ci-dessus.

Remarque 2. — Quand un circuit est utilisé pour le service de transit, il doit naturellement être satisfaisant aux points de vue de l'écho, de la diaphonie et de la stabilité (amorçage des oscillations) et en même temps il ne doit pas contribuer plus qu'il n'est admissible à l'équivalent total de l'ensemble de la communication téléphonique. Si le type de circuit international qu'on se propose d'utiliser pour une certaine communication présente une « réduction de qualité de transmission due à la limitation de la bande des fréquences effectivement transmises » ou une « réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit » supérieure à 0 décibel, la valeur de ces « réductions de qualité » doit être retranchée de la valeur désirée d'équivalent pour obtenir l'équivalent (à 800 Hz) auquel le circuit international considéré doit être exploité en service de transit. C'est cette dernière valeur d'équivalent à 800 Hz qu'on doit considérer pour déterminer si ce type particulier de circuit international sera satisfaisant aux points de vue de l'écho, de

la diaphonie et de l'amorçage des oscillations, comme il est indiqué dans le tome III du *Livre Vert*, première partie, section 1.2.

Aux Etats-Unis d'Amérique, jusqu'à ces dernières années, on mesurait les bruits de circuit avec un psophomètre dit « American Noise Meter » branché à l'extrémité du circuit interurbain fermé sur 600 ohms (les impédances des circuits interurbains sont toujours ramenées à 600 ohms par des transformateurs terminaux), ce psophomètre étant muni d'un « réseau A » (conforme au « tableau des poids » de l'ancien psophomètre pour circuits commerciaux du C.C.I.F.), suivi d'un « réseau B » (qui reproduisait les distorsions des lignes et appareils typiques que l'on rencontre dans le Bell System, entre les bornes du circuit interurbain et le récepteur téléphonique de l'abonné qui écoute) ; en outre, les lectures psophométriques, aux Etats-Unis d'Amérique, étaient exprimées en décibels par rapport au « bruit de référence » de 10^{-12} watt à 1 000 Hz. On attribuait alors, conformément au tableau 2 ci-après, à un circuit interurbain sur lequel on avait mesuré une certaine quantité de bruit de circuit (troisième colonne), un « indice de bruit » (noise rating) et une « réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit » (noise transmission impairment) donnés respectivement par les première et deuxième colonnes de ce tableau 2.

TABLEAU 2

Indice de bruit (Noise rating)	Réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit (Noise transmission impairment) en décibels	Bruit de circuit mesuré à l'extrémité du circuit interurbain à l'aide de l'ancien psophomètre américain muni de ses réseaux filtrants A + B et exprimé en décibels au-dessus du « bruit de référence » (10^{-12} watt à 1 000 Hz)
N 0	0	0 - 29
N 1	1	29 - 32
N 2	2	32 - 35
N 3	3	35 - 38
N 4	4	38 - 40
N 5	5	40 - 42
N 6	6	42 - 43
N 7	7	> 43

Remarque. — Les lectures psophométriques tombant aux limites des échelons du tableau 2 ci-dessus correspondaient à l'indice de bruit immédiatement inférieur ; par exemple, une lecture de 29 décibels sur le psophomètre correspondait à l'indice N 0 — une lecture de 32 décibels à l'indice N 1, etc... Comme exemple d'application de ce tableau 2, une lecture psophométrique de 33 décibels faite à l'extrémité d'un circuit interurbain aurait conduit à attribuer à ce circuit l'« indice de bruit » N 2 et une « réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit » égale à 2 décibels.

Dans une période de transition, on a utilisé la relation, donnée par ce tableau 2, entre la réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit et le bruit de circuit mesuré à l'extrémité du circuit interurbain, à la fois pour des bruits mesurés avec l'ancien psophomètre et des bruits mesurés avec le nouveau psophomètre

américain pour circuits téléphoniques commerciaux. Toutefois, les valeurs de bruit de circuit mesurées avec le nouveau psophomètre américain muni du réseau filtrant pour les mesures faites à l'extrémité du circuit interurbain étaient exprimées en « décibels corrigés » (db adjusted, en abrégé dba). Pour les mesures de bruit de circuit faites à l'extrémité du circuit interurbain avec le psophomètre américain muni de l'ancien réseau filtrant, le nombre de « décibels corrigés » est numériquement égal au nombre de décibels au-dessus du « bruit de référence » (10^{-12} watt à 1 000 Hz). Pour les mesures faites à l'extrémité du circuit avec le nouveau psophomètre américain, le nombre de « décibels corrigés » est égal au nombre de décibels au-dessus du même bruit de référence, diminué de 5 décibels. Comme il est expliqué dans l'*Engineering Report* n° 45 du Joint Subcommittee of the Edison Electric Institute and the Bell System (dont la traduction française constitue le document « C.C.I.F. 1947/1948 — 1^{re} C.R. — Document n° 2 »), des bruits dont les valeurs exprimées en « décibels corrigés » sont égales ont approximativement le même effet perturbateur, et par conséquent, produisent sensiblement la même « réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit ». Ainsi, la relation entre la réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit et la valeur du bruit de circuit, exprimée en « décibels corrigés », que l'on employait aux Etats-Unis d'Amérique, dans cette période de transition, était la même que la relation entre la réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit et la valeur du bruit de circuit, exprimée en décibels au-dessus du « bruit de référence », que l'on employait précédemment, et qui est donnée également par le tableau 2 ci-dessus.

Comme résultat d'essais récents relatifs à la relation entre la valeur du bruit de circuit (exprimée en « décibels corrigés ») et la réduction de qualité de trans-

TABLEAU 2 bis

Indice de bruit (noise rating)	Réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit (noise transmission impairment, en abrégé NTI), en décibels	Bruit de circuit mesuré à l'extrémité du circuit interurbain à l'aide du nouveau psophomètre américain * et exprimé en en « décibels corrigés » (dba)
N 0	0	0 - 29
N 0,5	0,5	29,1 - 32
N 1	1	32,1 - 34
N 2	2	34,1 - 36
N 3	3	36,1 - 37,5
N 4	4	37,6 - 39
N 5	5	39,1 - 40
N 6	6	40,1 - 41,5
N 7	7	41,6 - 42,5
N 8	8	42,6 - 43,5
N 9	9	43,6 - 44,5
N 10	10	>44,5

* La courbe caractéristique du réseau filtrant de ce nouveau psophomètre américain est identique à celle du nouveau psophomètre pour circuits téléphoniques commerciaux du C.C.I.F. (voir le *Livre Vert*, tome IV, section 3.2.3) à cela près qu'aux Etats-Unis d'Amérique la fréquence de référence (correspondant par convention au poids 0 décibel) est 1 000 Hz au lieu de 800 Hz.

Remarque. — On a introduit dans ce tableau un nouvel « indice de bruit » N 0,5; ceci a paru désirable pour tenir compte du fait que l'intervalle de valeurs du bruit de circuit (en « décibels corrigés ») compris entre les valeurs correspondant à des réductions de qualité de transmission égales respectivement à 0 décibel et 1 décibel est plus étendu que dans le cas de l'ancien tableau 2.

mission due aux bruits de circuit, sur des liaisons entre des postes téléphoniques de type américain F 1 A, on emploie actuellement aux Etats-Unis d'Amérique, à la place du tableau 2 ci-dessus, le tableau 2 *bis* ci-dessus.

Aux Etats-Unis d'Amérique, quand un circuit interurbain vient d'être établi, on fait des mesures psophométriques à chacune de ses extrémités ; la plus grande des deux lectures ainsi obtenues sert à déterminer « l'indice de bruit » à attribuer à ce circuit. Pour faciliter le travail du service de maintenance et du service technique, on inscrit sur la fiche donnant la spécification sommaire de ce circuit l'« indice de bruit » ainsi que la « réduction de qualité de transmission due au bruit de circuit ». (Une telle « spécification sommaire » donne le numéro de la paire de conducteurs en câble utilisée, ou les positions des tiges d'isolateurs supportant les conducteurs du circuit en fils nus aériens dont il s'agit — les longueurs des sections d'amplification — la nature et le gain de chaque répéteur — les réglages des dispositifs de régulation, etc... bref, toutes les caractéristiques du circuit qui sont importantes pour le service technique et pour la maintenance.)

Quand deux circuits interurbains de types différents sont raccordés en permanence l'un à l'autre, le bruit sur l'ensemble de cette liaison est mesuré à l'aide du psophomètre et l'on détermine ainsi directement l'« indice de bruit » attribué à cette liaison (voir les tableaux 2 et 2 *bis* ci-dessus) plutôt que d'avoir recours au calcul.

Il est souvent désirable cependant de calculer la « réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit » pour l'ensemble d'une liaison interurbaine comportant deux ou plus de deux circuits interurbains ; à titre d'exemple, dans le Bell System, la méthode suivie pour obtenir le bruit résultant consiste essentiellement : 1° à rapporter à un même point (par exemple à l'extrémité de la liaison interurbaine, les divers bruits composants existant sur les divers circuits constituant cette liaison et considérés isolément ; 2° à additionner ensuite, suivant une loi quadratique (racine carrée de la somme des carrés), les tensions correspondant à ces divers bruits composants rapportés au même point.

Soit, par exemple, deux circuits AB et BC ayant chacun un équivalent de 9 décibels et interconnectés au moyen d'un répéteur sur cordon placé en B et procurant un gain de 6 décibels. Supposons qu'on mesure 34 « décibels corrigés » sur le nouveau psophomètre américain placé en B à l'extrémité du circuit AB considéré isolément, et qu'on mesure aussi 34 « décibels corrigés » sur ce psophomètre placé en C à l'extrémité du circuit BC considéré isolément.

Il faut d'abord rapporter au point C (extrémité de la liaison) le bruit de 34 « décibels corrigés » mesuré en B à l'extrémité du circuit AB, et pour cela l'affecter du gain (+ 6 décibels) du répéteur sur cordon placé en B et de l'affaiblissement (−9 décibels) du circuit BC ; on obtient ainsi, pour le bruit du circuit AB rapporté au point C : $34 + 6 - 9 = 31$ « décibels corrigés ».

Il reste alors à additionner, au point C, suivant une loi quadratique, les deux bruits composants de 34 « décibels corrigés » et de 31 « décibels corrigés ».

Il revient d'ailleurs au même d'additionner suivant une loi quadratique les tensions correspondant aux divers bruits, ou d'additionner suivant une loi linéaire les rapports de puissance correspondant (par rapport à une puissance de référence arbitraire) aux mêmes nombres de décibels.

Or, aux nombres 34 décibels et 31 décibels correspondent respectivement des rapports de puissances égaux à 2 512 et 1 259. Le résultat de l'addition des tensions suivant une loi quadratique correspond à une lecture de 35,76 « décibels corrigés »

sur le psophomètre américain, puisque l'on a : $2\,512 + 1\,259 = 3\,771$ et $10 \log_{10} 3\,771 = 35,76$ décibels.

Par conséquent, les deux bruits de circuit de 34 « décibels corrigés » mesurés aux extrémités des circuits AB et BC, considérés isolément, produisent un bruit résultant de 35,76 « décibels corrigés » à l'extrémité de la liaison AB + BC *. D'autre part, le tableau 2 bis ci-dessus donne alors, pour un tel bruit résultant de 35,76 « décibels corrigés », une « réduction de qualité de transmission due au bruit de circuit » égale à 2 décibels, à ajouter à l'équivalent à 1 000 Hz de l'ensemble des deux circuits interconnectés.

A cause des méthodes suivies en assignant des gains nominaux aux divers répéteurs, on a en général trouvé qu'il ne serait pas pratique de tenir compte des bruits en retranchant la « réduction de qualité de transmission, due aux bruits de circuit » de l'équivalent désiré du circuit (comme il est indiqué dans le Commentaire concernant la « réduction de qualité de transmission due à la limitation de la bande des fréquences effectivement transmises » (voir le *Livre Jaune*, tome VI, section VI.3.2, pages 138 à 143)); la raison en est que l'écart entre signal et bruit est, en général, indépendant de l'équivalent du circuit, en d'autres termes, une amélioration de l'équivalent d'un circuit tendrait à accroître la « réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit » attribuée à ce circuit, et cela compenserait largement la réduction de la valeur de l'équivalent.

En Europe, où l'on mesure les bruits de circuit au moyen d'un psophomètre pour circuits téléphoniques commerciaux conformes aux recommandations du C.C.I.F. et branché sur une résistance de 600 ohms terminant le circuit interurbain (un transformateur d'adaptation étant éventuellement inséré), il est recommandé de procéder, pour évaluer la « réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit », d'une manière semblable à celle employée aux Etats-Unis d'Amérique et décrite ci-dessus, mais en utilisant provisoirement le tableau 1 ci-dessus, qui donne la « réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit » (en décibels), en fonction de la « force électromotrice psophométrique mesurée avec l'ancien psophomètre pour circuits téléphoniques commerciaux du C.C.I.F. » (en millivolts).

Combinaison d'une « réduction de qualité de transmission due à la limitation de la bande des fréquences effectivement transmises » et d'une « réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit ». — Les méthodes décrites ci-dessus constituent la pratique suivie aux Etats-Unis d'Amérique pour déterminer les réductions de qualité de transmission dues, soit aux bruits de circuit, soit à la limitation de la bande des fréquences effectivement transmises (soit pour un seul circuit interurbain, soit pour une liaison constituée par plusieurs circuits interurbains interconnectés). Pour obtenir l'« équivalent de transmission effective » d'un tel circuit simple ou d'une telle liaison complexe, la pratique usuelle consiste à additionner directement : 1° l'équivalent à 1 000 Hz ; 2° la réduction de qualité de transmission due à la limitation de la bande des fréquences ; 3° la réduction de qualité de transmission due aux bruits de circuit, déterminée comme il est indiqué ci-dessus.

* En pratique, dans le Bell System, on utilise des courbes ou des tableaux qui donnent directement les résultats d'une telle addition des tensions suivant une loi quadratique.

ANNEXE 4

RÉDUCTION DE QUALITÉ DE TRANSMISSION DUE AU BRUIT DE SALLE

L'effet quantitatif des bruits de salle sur la qualité de la transmission téléphonique a été déterminé aux Etats-Unis d'Amérique par des essais d'appréciation effectués au laboratoire et a été exprimé sous la forme de courbes donnant, pour chaque type de poste téléphonique, la « réduction de qualité de transmission due au bruit de salle » (room noise impairment, en abrégé R.N.I.) en fonction de l'intensité acoustique subjective du bruit de salle, mesurée avec le sonomètre américain (voir l'Annexe 17 de ce volume).

La réduction de qualité de transmission égale à zéro correspond à une intensité acoustique subjective du bruit de salle, mesurée avec le sonomètre américain, de 50 décibels (le zéro de référence correspondant à une pression acoustique de $2 \cdot 10^{-4}$ barye d'une onde progressive libre à 1 000 Hz).

La courbe 1, « 1946 F 1 A », de la figure 1 est la courbe, actuellement utilisée dans le Bell System aux Etats-Unis d'Amérique, donnant la « réduction de qualité de transmission due au bruit de salle » en fonction de l'« intensité subjective du bruit de salle, mesurée avec le sonomètre américain ». La courbe 2, « 1931 A.S.T. », employée autrefois, correspondait aux postes téléphoniques à montage antilocal utilisés en 1931 dans le Bell System.

Dans le Bell System, on détermine au moyen de cette courbe la « réduction de qualité de transmission due au bruit de salle », exprimée en décibels, correspondant à la valeur moyenne de bruit de salle déterminée d'après une série de mesures faites dans la zone desservie par un bureau central urbain donné. Dans les projets d'établissement de lignes d'abonné dans cette zone, on ajoute simplement ce nombre de décibels aux autres « pertes de transmission élémentaires » (component losses) et l'on vérifie que la somme obtenue est égale à la « perte de transmission totale » (overall loss) spécifiée.

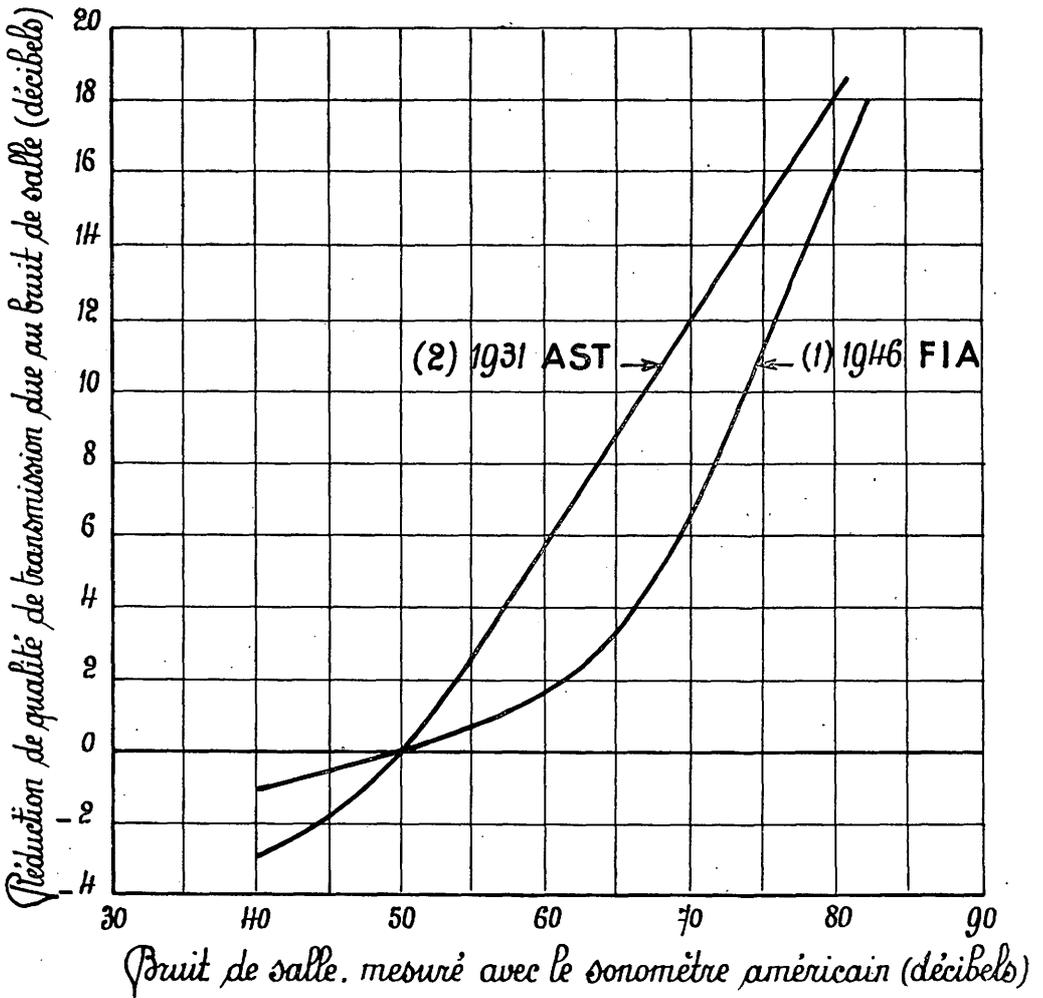


FIGURE 1. — Courbes utilisées aux Etats-Unis d'Amérique donnant la réduction de qualité de transmission due au bruit de salle; comparaison de la nouvelle courbe, établie en 1946, avec l'ancienne courbe de 1931

ANNEXE 5

ÉTALONNAGE ABSOLU DES SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE AU LABORATOIRE DU C.C.I.F.

I. CYCLE D'ÉTALONNAGE ABSOLU DU S.F.E.R.T.

II. CYCLE D'ÉTALONNAGE ABSOLU DE L'A.R.A.E.N.

I. CYCLE D'ÉTALONNAGE ABSOLU DU S.F.E.R.T. AU LABORATOIRE DU C.C.I.F.

1. Principes généraux de l'étalonnage électroacoustique

Chacun des microphones à condensateur utilisé avec le S.F.E.R.T. subit un étalonnage en chambre close remplie d'hydrogène dont une des parois est le diaphragme du microphone (voir la figure 2). On crée thermiquement, à l'intérieur de cette chambre, une onde acoustique en utilisant un thermophone.

Les récepteurs sont étalonnés sur une oreille artificielle, spécifiée pour l'emploi du S.F.E.R.T. seulement, et qui est constituée par un microphone du S.F.E.R.T. et un coupleur clos d'un volume de 6 cm³ rempli d'hydrogène à la pression atmosphérique.

On se borne au Laboratoire du C.C.I.F. à vérifier la stabilité dans le temps des microphones et des récepteurs.

Le cycle complet d'étalonnage absolu du S.F.E.R.T. n'est effectué, en principe, que deux fois par an. Toutefois, lorsqu'on a à déterminer un grand nombre d'équivalents de référence, on a intérêt à vérifier l'étalonnage absolu du microphone à condensateur et du récepteur étalon que l'on emploie pour les essais à la voix et à l'oreille, et qui est en principe le même pendant une période assez longue. En général, la mesure de ce microphone avec un seul thermophone et du récepteur avec un seul microphone suffit à vérifier la constance des appareils étalons.

Le cycle d'étalonnage complet du S.F.E.R.T. comprend 5 parties :

1. Etalonnage des microphones à condensateur.
2. Etalonnage des récepteurs à bobine mobile.
3. Etalonnage de l'amplificateur du système émetteur.
4. Etalonnage de l'amplificateur du système récepteur.
5. Mesure de bruit.

La méthode à appliquer pour le calcul et le tracé des courbes d'étalonnage est indiquée dans le *Livre Noir* (pp. 22 à 48) (spécification du S.F.E.R.T., fournie par l'American Telephone and Telegraph Cy) conservé au Laboratoire du C.C.I.F. En outre, pour la détermination du « réglage normal » d'après les résultats du cycle d'étalonnage, on suit les directives contenues dans le memorandum américain MM 2768 du 16 mars 1931. Ce memorandum donne également divers renseignements sur les étalonnages absolus.

2. Etalonnage des microphones à condensateur par la méthode du thermophone

2.1. GÉNÉRALITÉS SUR LA THÉORIE DU THERMOPHONE

Le système fondamental européen de Référence (S.F.E.R.T.) est respectivement défini, pour chaque fréquence, par un certain rapport de volts par barye pour le système émetteur et de baryes par volt pour le système récepteur.

La détermination de ces rapports est obtenue au moyen d'un étalonnage spécial dont la technique est basée sur l'emploi du thermophone en chambre close. Le thermophone est un récepteur à fil chaud se comportant comme un transformateur d'énergie électrique en énergie acoustique par l'intermédiaire de l'énergie thermique. Il est généralement constitué par un ruban de métal extrêmement mince (deux feuilles d'or tendues de 1/10 de micron d'épaisseur) dont la masse est suffisamment petite pour avoir une très faible capacité calorifique.

Lorsque ce ruban de résistance, R , est parcouru par un courant alternatif de pulsation $\omega = 2 \pi f$, il subit par effet Joule des variations de température qui sont de la forme :

$$T = kRI^2 \sin^2 \omega t, \quad (1)$$

expression qui peut encore s'écrire :

$$T = kRI^2 \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right) \quad (2)$$

Les particules de gaz situées au voisinage des feuilles d'or subissent par conduction des variations périodiques de température. Elles créent en se dilatant et se contractant un piston gazeux et, sous l'action de ce piston, la masse de gaz emplissant le reste de la cavité, est soumise à des compressions et des dépressions également périodiques. Les fluctuations de la pression du gaz donnent naissance à une pression acoustique de même fréquence sur le diaphragme du microphone.

Dans la pratique, avec les dimensions importantes de la cavité du microphone, on est obligé, afin que ses dimensions restent petites devant la longueur d'onde de la fréquence de mesure, de remplir cette cavité avec un gaz léger (de l'hydrogène) et ainsi, par cet artifice, on réduit d'environ trois à quatre fois les dimensions équivalentes de cette cavité.

Dans la formule (2) ci-dessus, on voit apparaître un terme de fréquence double ; la variation de température engendre donc, dans l'atmosphère avoisinant le thermophone, une onde acoustique de fréquence double de celle du courant

électrique. Si on veut remédier à cet inconvénient, il faut recourir à un artifice analogue à celui que l'on utilise dans le récepteur téléphonique ordinaire et superposer au courant alternatif I_a , un courant continu I_c . Ce courant continu polarisant joue le rôle du champ magnétique directeur du récepteur ordinaire ou du courant magnétisant dans le cas du récepteur électromagnétique. Dans ces nouvelles conditions l'expression de T devient :

$$\begin{aligned} T &= kR (I_c + I_a \sin \omega t)^2 \\ &= kRI_c^2 + kR I_a^2 - kR \frac{I_a^2}{2} \cos 2 \omega t + 2 kR I_c I_a \sin \omega t \end{aligned} \quad (2)$$

On démontre que, si on est maître de régler les intensités I_c et I_a , le rendement acoustique peut être supérieur que dans le premier cas (en l'absence de courant continu). Comme I_a est toujours petit devant I_c , la deuxième solution est seule intéressante, du fait qu'elle multiplie la sensibilité dans le rapport $\frac{I_a}{I_c}$ et conserve la fréquence fondamentale, en réduisant le terme de fréquence double à une valeur relativement très petite et négligeable devant celle du fondamental. En pratique, I_c est égal à 0,5 A et I_a est de l'ordre de quelques milliampères.

Si le thermophone est un instrument de précision médiocre lorsqu'il est utilisé dans des conditions acoustiques non définies, la théorie montre par contre, et l'expérience confirme que, dans une chambre de dimension très petite devant la longueur d'onde du son étudié, la pression produite par l'effet calorifique est calculable avec une très bonne approximation. Cette théorie suppose, comme il vient d'être dit, que l'élément thermique est logé dans une chambre dont les dimensions linéaires sont petites en comparaison de la longueur d'onde des ondes sonores, et dans laquelle les variations de pression se transmettent instantanément de l'élément thermique à toutes les parois de la chambre qui fonctionne comme un véritable manomètre. Le microphone étudié est d'autre part, l'une des parois de cette chambre. Il est ainsi soumis à une pression exactement définie. En vue de rendre la chambre acoustiquement aussi petite que possible et de reporter la fréquence de résonance au delà des fréquences utiles, on la remplit d'hydrogène, gaz dans lequel la vitesse de propagation du son est, comme on le sait, quatre fois plus élevée que dans l'air ordinaire.

Equation de fonctionnement du thermophone

Le fonctionnement du thermophone s'étudie théoriquement en considérant d'une part la propagation de la chaleur dans les milieux gazeux et les phénomènes thermo-dynamiques qui l'accompagnent et, d'autre part, l'apport de chaleur par les feuilles d'or et l'équilibre thermo-dynamique qui en résulte dans la chambre de couplage.

Les calculs qui conduisent à l'expression reproduite ci-après et qui donnent la courbe représentative de la pression p , dans la chambre thermophonique ont été établis d'après les principales hypothèses suivantes :

- a) le thermophone est placé pour l'étalonnage des microphones dans une chambre close de petit volume,
- b) les parois de la chambre sont supposées parfaitement rigides,
- c) les dimensions linéaires de la chambre sont petites en comparaison de la longueur d'onde du son,
- d) la longueur d'onde de l'onde de diffusion thermique relative à la chaleur d'origine thermophonique est petite en comparaison de la distance entre les feuilles d'or et les parois,
- e) la perte de chaleur subie par le thermophone du fait de la radiation et de la conduction est négligeable.

Le tableau 1, donne en fonction de la fréquence la valeur de p , pour les thermophones étalons et un courant continu de 0,5 A.

$$p = \frac{239 RI [1 - 3,95 f^{-\frac{1}{2}} + 7,80 f^{-1}]^{\frac{1}{2}} [1 - 0,543 f^{-\frac{1}{2}} + 0,147 f^{-1}]^{\frac{1}{2}}}{f [0,0053 f + 0,331 f^{\frac{1}{2}} + 10,33]^{\frac{1}{2}}}$$

La figure 1 donne la pression en décibels donnée pour le thermophone par rapport à la base 1 500 baryes.

$$N = 20 \log_{10} \frac{P}{1.500}$$

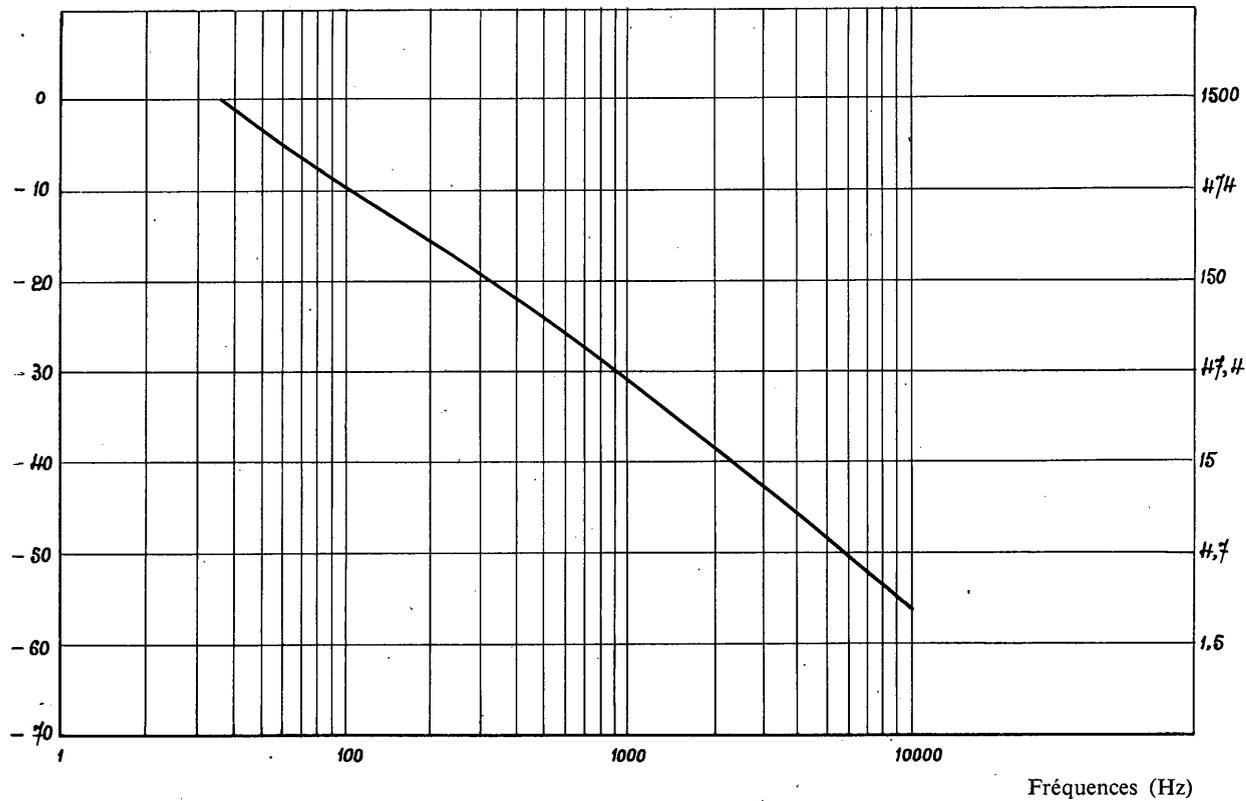
TABLEAU 1

Pression développée par le thermophone dans la chambre normale du S.F.E.R.T.

Formule de Wentz. Applications numériques

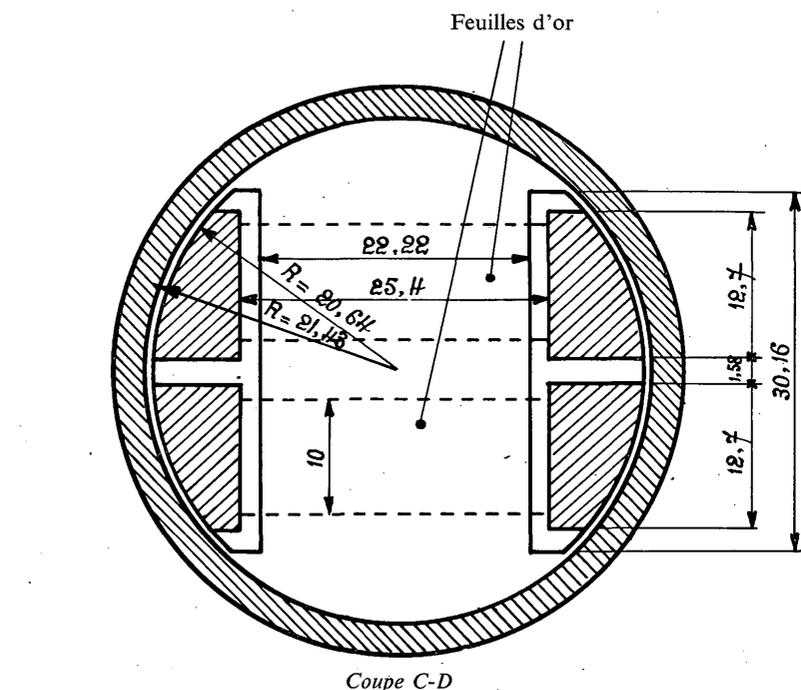
f .	P .	$\log_{10} P$.	$20 \times \log_{10} P$ ou décibels par rapport à 1 barye
25	1922,0	3,28635	65,72700
49	1021,0	3,00887	60,17740
81	635,8	2,80333	56,06660
100	517,1	2,71359	54,27180
225	228,7	2,35927	47,18540
400	123,9	2,09307	41,86140
900	49,9	1,69787	33,95740
1.600	25,4	1,40543	28,10860
2.500	14,7	1,16668	23,33360
3.600	9,25	0,96636	19,32720
4.900	6,08	0,79436	15,88720
6.400	4,38	0,64136	12,82720
8.100	3,35	0,50543	10,10860
10.000	2,41	0,38232	7,84640
16.900	1,17	0,07063	1,41060

Pression exprimée en décibels par rapport à la base 1500 baryes
 $N' = 20 \log \frac{p}{1500}$

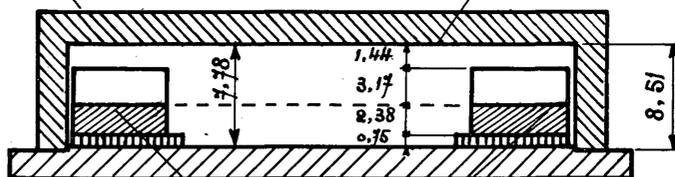


Pression absolue en baryes par volt aux bornes du thermophone

FIGURE 1. — Courbe caractéristique de fonctionnement des thermophones étalons pour un courant de 0,5 ampère



bloc du microphone diaphragme du microphone



Feuilles de plomb de 0,03 mm. placées sous les feuilles d'or

Volume de la chambre : 9,105 cm³

FIGURE 2. — Vue schématique du thermophone

3. Étalonnage d'un microphone à condensateur

Pour étalonner un microphone à condensateur du S.F.E.R.T., on le couple acoustiquement avec le bloc support du thermophone à l'aide d'un coupleur spécial (voir la figure 3).

La base annulaire du microphone est légèrement enduite de vaseline pour assurer une étanchéité convenable à la chambre de couplage. Le volume effectif de la chambre d'étalonnage est de 9,105 cm³.

Base annulaire du microphone
(légèrement enduite de vaseline)
reposant sur le bloc support
du thermophone (voir figure 1)

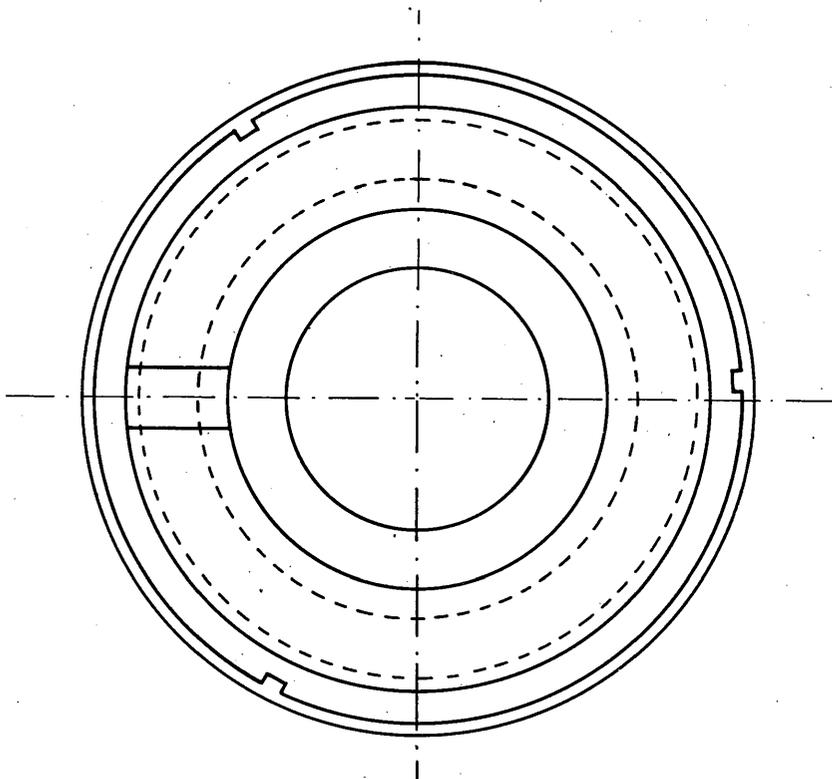
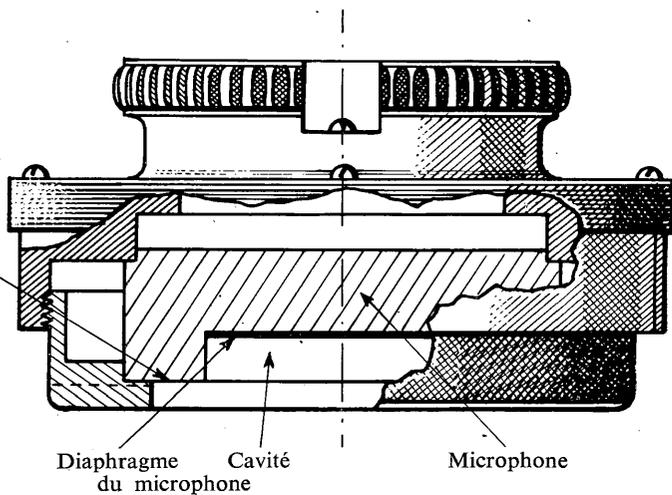


FIGURE 3. — Coupleur spécial
permettant de placer le microphone à condensateur du S.F.E.R.T. sur le bloc support
du thermophone

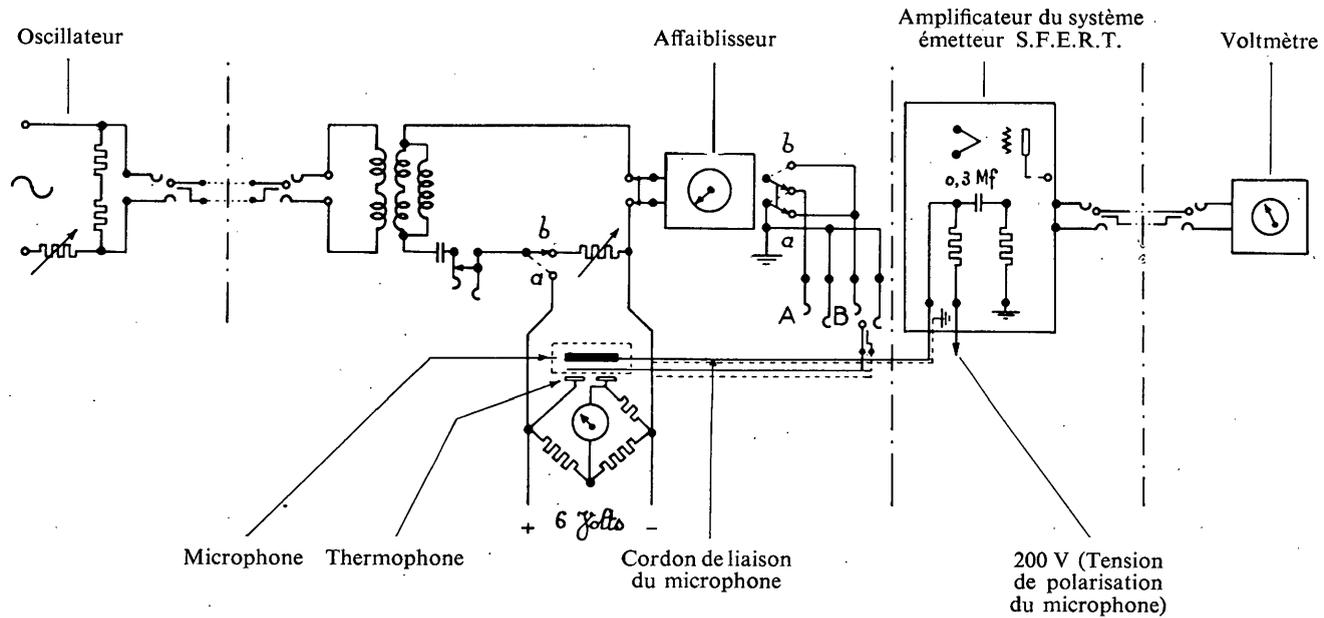


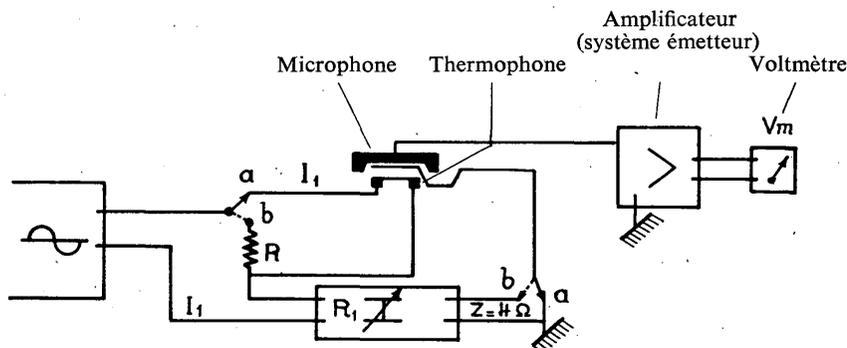
FIGURE 4. — Etalonnage absolu d'un microphone

Le contrôle et le réglage du remplissage en hydrogène de la chambre de couplage s'effectue à l'aide de dispositifs spéciaux comportant des manomètres. Avant de remplir la chambre de couplage on mesure la résistance dans l'air en courant continu des feuilles d'or pour une valeur de 0,5 ampère. Cette valeur est obtenue à partir de cadrans de réglage placés sur la baie du thermophone. Pendant le remplissage, on contrôle la valeur de la résistance des feuilles d'or qui diminue progressivement pour atteindre une valeur fixe, environ 10% plus faible que sa valeur dans l'air. Lorsque cette valeur limite est atteinte, on est assuré que l'hydrogène a remplacé totalement l'air que contenait la chambre du thermophone.

Les schémas de principe des connexions électriques sont donnés dans la figure 4. Cette figure montre que le thermophone est monté dans le bras d'un pont de Wheatstone et qu'il est alimenté en permanence par une source de courant de 6 volts, dont l'intensité du courant est réglée à la valeur de 0,5 ampère.

3.1 PRINCIPE DE L'ÉTALONNAGE D'UN MICROPHONE A CONDENSATEUR PAR LA MÉTHODE DU THERMOPHONE

Schéma de principe de la mesure



Si on désigne par :

- E_T l'efficacité du microphone (exprimée en volts par barye),
- I_1 l'intensité du courant alternatif dans le thermophone et à l'entrée de l'affaiblisseur,
- P la pression engendrée par le thermophone par ohm et par ampère de courant alternatif le traversant,
- V_M la tension aux bornes du voltmètre,
- A le gain en tension de l'amplificateur,
- R_1 l'impédance d'entrée de l'affaiblisseur ($R_1 = 15,1$ ohms),
- N la valeur en décibels de l'affaiblisseur,
- R la résistance du thermophone,

1. Nous avons, en plaçant les commutateurs dans la position « a », la valeur de la tension V_M lue sur le voltmètre, qui est égale à :

$$I_1 \times R \times P \times E_T \times A$$

2. Et en plaçant les commutateurs dans la position « b », en réglant l'affaiblisseur à la valeur N pour retrouver la même indication sur le volt-mètre (le thermophone est remplacé par une résistance équivalente) :

$$V_M = I_1 R_1 \times 10^{-0,05 N} \times A$$

$$\text{(on sait que : } N = 20 \log \frac{U_1}{U_2} \text{ d'où : } U_2 = U_1 \times 10^{-0,05 N} \text{)}$$

En égalant les 2 expressions de V_M dans les 2 positions 1 et 2, on tire

$$E_T = \frac{R_1 \times 10^{-0,05N}}{R \times P} \quad (1)$$

La valeur de P , pour chaque fréquence, est donnée par la formule de Wentz.

$$\text{Posons :} \quad N' = 20 \log \frac{P_2}{P},$$

P_2 étant un nombre choisi arbitrairement et que l'on a pris ici égal à 1.500 baryes.

$$\text{Donc} \quad \frac{P_2}{P} = 10^{-0,05N'} \text{ et } P = P_2 \times 10^{-0,05N'}$$

La courbe de la figure 1, donne les valeurs de N' telles que, pour chaque fréquence, on a la relation :

$$N' = \log \frac{1\,500}{P}$$

En remplaçant P par cette valeur dans la formule (1)

L'expression de E_T devient :

$$E_T = \frac{R_1 \times 10^{0,05(N'-N)}}{R \times P_2}$$

$$\text{Posons :} \quad \frac{R_1}{R \times P_2} = M$$

avec R_1 (15,1 ohms) et P_2 (1 500 baryes) qui sont des valeurs fixes, M dépend donc de la résistance R du thermophone utilisé.

Nous pouvons écrire :

$$N'' = 20 \log \frac{M}{K} \quad \text{ou} \quad \frac{M}{K} = 10^{0,05N''}$$

K étant un nombre arbitrairement choisi.

$$\text{Faisons } K = 1 ; \text{ donc } M = 10^{0,05N''}$$

Finalement l'expression de l'efficacité du microphone devient

$$E_T = 10^{0,05[N' - (N + N'')]} ,$$

En posant $N' - (N + N'') = N_c$ l'efficacité du microphone est égale : $10^{0,05 N_c}$, dans laquelle, N est la valeur de l'affaiblissement nécessaire pour retrouver la déviation primitive du voltmètre.

N' dépend de la pression fournie par le thermophone. Cette pression est la même pour les 4 thermophones du S.F.E.R.T., mais dépend de la fréquence (voir la courbe de la figure 1).

N'' dépend de la résistance du thermophone (N'' est indépendant de la fréquence mais varie avec chaque thermophone), et est calculé pour chacun des 4 thermophones avant les mesures d'étalonnage.

3.2 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

L'efficacité d'un microphone du S.F.E.R.T. est exprimée en décibels par rapport à la base de 1 volt par barye et elle est la valeur moyenne des valeurs trouvées avec 4 thermophones disponibles n'ayant pas de défaut visible.

Un microphone est considéré comme satisfaisant si la valeur de son efficacité (moyenne arithmétique des valeurs obtenues pour 20 fréquences comprises entre 200 et 3 600 Hz), est comprise dans les limites de 51 db \pm 2 db au-dessous de 1 volt par barye et lorsque la valeur à 5 000 Hz est plus grande que 1 décibel et plus petite que 4 décibels de la valeur mesurée à 1 000 Hz.

Le Laboratoire du C.C.I.F. dispose de la documentation donnant les directives à suivre pour effectuer de tels étalonnages. Ces directives figurent dans le Mémoire M M 2768 de mars 1931.

A titre d'exemple, le tableau 2 ci-après donne les valeurs de l'efficacité d'un microphone à condensateur mesurées avec la méthode du thermophone.

4. Etalonnage d'un récepteur électrodynamique

L'étalonnage des 4 microphones avec chacun des 4 thermophones étant terminé, le cycle complet se poursuit par l'étalonnage des 4 récepteurs à bobine mobile à l'aide de chacun des microphones à condensateur.

Le récepteur du S.F.E.R.T. est couplé acoustiquement avec un microphone du S.F.E.R.T. à l'aide d'un coupleur spécial (voir la figure 6).

On réalise ainsi une oreille artificielle spécifiée seulement pour l'étalonnage de ces récepteurs.

Le volume total de la chambre d'étalonnage est d'environ 29,8 cm³ se décomposant ainsi :

12,3 cm³ représentant le volume de la cavité du microphone,

6,0 cm³ pour le volume du coupleur,

11,5 cm³ pour le volume compris entre le plan de base du récepteur et la membrane du récepteur.

Cette chambre est remplie d'hydrogène à la pression atmosphérique.

Le thermophone n'étant pas utilisé au cours de ces mesures, il est recouvert par le coupleur microphonique portant le bloc remplaçant le microphone. Toute-

TABLEAU 2

Etalonnage d'un microphone à condensateur du S.F.E.R.T. par la méthode du thermophone

Thermophone n° 2 — Résistance 3,82 ohms — Microphone n° 3978

Hertz	N'	N''	N' + N''	N	Valeur de l'efficacité du microphone (db par rapport à 1 volt par barye) N _c
	(db)	(db)	(db)	(db)	
100	+ 9,2	—51,6	—42,4	7,2	—49,6
200	+15,0	»	—36,6	13,7	—50,3
300	+18,7	»	—32,9	17,5	—50,4
400	+21,6	»	—30,0	20,3	—50,3
500	+23,5	»	—28,1	22,7	—50,8
600	+25,2	»	—26,4	24,3	—50,7
700	+26,7	»	—24,9	26,3	—50,9
800	+28,0	»	—23,6	27,3	—50,9
900	+29,6	»	—22,0	28,7	—50,7
1 000	+30,4	»	—21,2	29,2	—50,4
1 100	+31,4	»	—20,2	30,3	—50,5
1 200	+32,4	»	—19,2	31,3	—50,5
1 300	+33,4	»	—18,2	32,0	—50,2
1 500	+34,4	»	—17,2	33,6	—50,8
1 800	+36,5	»	—15,1	35,2	—50,3
2 100	+38,0	»	—13,6	37,0	—50,6
2 400	+39,4	»	—12,2	38,4	—50,6
2 700	+41,0	»	—10,6	39,3	—49,9
3 000	+42,0	»	— 9,6	40,3	—49,9
3 300	+43,0	»	— 8,6	41,3	—49,3
3 600	+44,2	»	— 7,4	42,0	—49,4
4 000	+45,0	»	— 6,6	42,9	—49,5
4 500	+46,4	»	— 5,2	44,1	—49,3
5 000	+47,7	»	— 3,9	45,5	—49,4
5 500	+48,6	»	— 3,0	46,9	—49,9
6 000	+49,5	»	— 2,1	48,8	—50,9
7 000	+51,0	»	— 0,6	53,0	—52,4
8 000	+52,0	»	+ 1,0	56,9	—55,9
10 000	+55,9	»	+ 4,3	63,9	—59,6
Valeur moyenne de l'efficacité (dans la bande des fréquences comprises entre 200 et 3600 Hz)					—50,4 db par rapport à 1 volt par barye

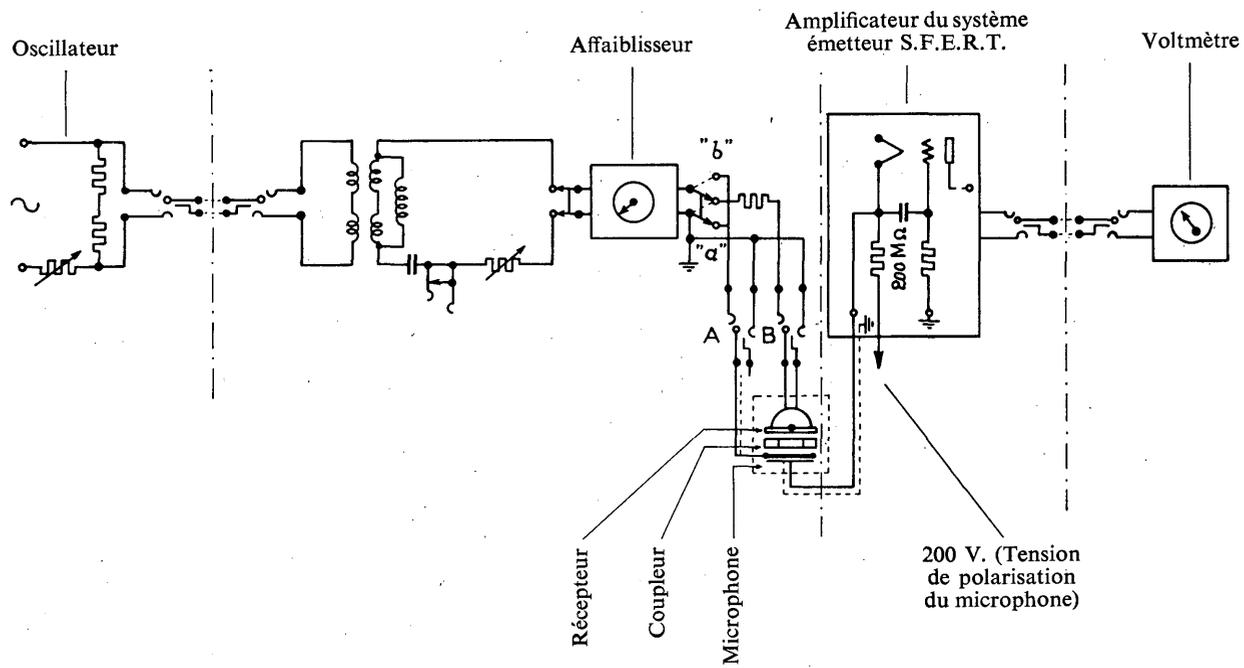


FIGURE 5. — Etalonnage absolu d'un récepteur

fois, il est nécessaire de s'assurer après la mise en place du bloc, que l'ensemble ne comporte pas de fuite de gaz, non parce qu'un petit défaut dans l'étanchéité de la chambre thermophonique a une action préjudiciable sur l'étalonnage du récepteur, mais parce que cette précaution facilite la recherche ultérieure des fuites possibles lors de la mise en place du récepteur pour l'étalonnage.

Les schémas de principe des connexions électriques réalisées pour de telles mesures sont données dans la figure 5.

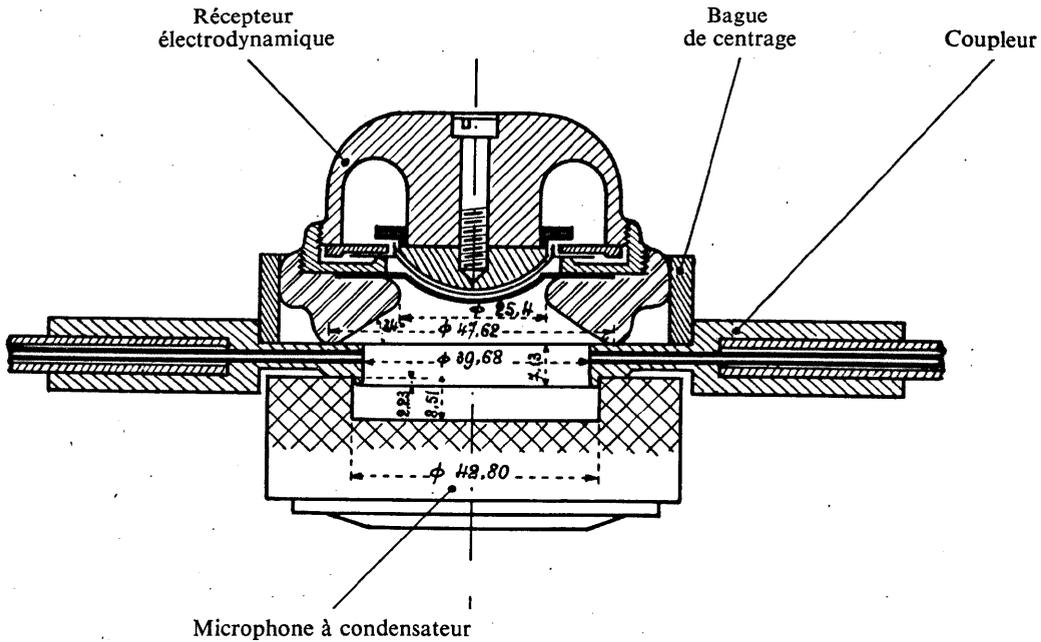
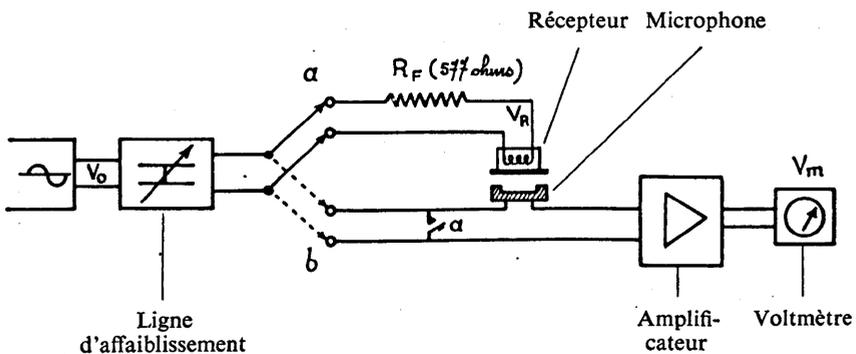


FIGURE 6. — Oreille artificielle spécifiée pour l'étalonnage des récepteurs du S.F.E.R.T.
Chambre d'étalonnage d'un récepteur électro-dynamique

4.1 PRINCIPE DE L'ÉTALONNAGE D'UN RÉCEPTEUR

Schéma de principe de la mesure



Si on désigne par :

- V_M la tension aux bornes du voltmètre.
 V_o la tension aux bornes d'entrée de l'affaiblisseur.
 V_R la tension aux bornes du récepteur, $V_R = V_o \times 10^{-0,05 N_a} \times \frac{R_R}{R_R + R_F}$.
 R_R l'impédance du récepteur (20 ohms pour les récepteurs du S.F.E.R.T.) et de son cordon.
 R_F l'impédance fixe de 577 ohms (utilisée avec les 4 récepteurs du S.F.E.R.T., l'affaiblisseur devant être connecté à une impédance au moins égale à 100 ohms).
 P'_R l'efficacité du récepteur (exprimée en baryes par volt).
 E_T l'efficacité du microphone (exprimée en volts par barye).
 A le gain en tension de l'amplificateur.
 N_a le réglage de l'affaiblisseur dans la position « a » des commutateurs.
 N_b le réglage de l'affaiblisseur dans la position « b » des commutateurs.

1. Nous avons, en plaçant les commutateurs dans la position « a » et en réglant l'affaiblisseur à une valeur N_a quelconque (on fait, en général, $N_a = 5$ db), la valeur V_m lue sur le voltmètre égale à :

$$V_R \times P'_R \times E_T \times A = V_o \times 10^{-0,05 N_a} \times \frac{R_R}{R_R + R_F} \times P'_R \times E_T \times A$$

2. En plaçant les commutateurs dans la position « b », et en réglant l'affaiblisseur à une valeur N_b pour retrouver la même indication du voltmètre, on a :

$$V_M = V_o \times 10^{-0,05 N_b} \times A$$

d'où, nous tirons la valeur de l'efficacité P'_R du récepteur qui est égale à :

$$P'_R = \frac{(R_R + R_F) \times 10^{0,05 (N_a - N_b)}}{R_R \times E_T} \quad (1)$$

On sait que :

$$E_T = 10^{0,05 [N' - (N + N'')]} \quad (\text{déterminée lors de l'étalonnage du microphone})$$

où $E_T = 10^{0,05 N_c}$ si l'on pose : $N_c = N' - (N + N'')$.

La formule (1) devient :

$$P'_R = \frac{(R_R + R_F) \times 10^{0,05 (N_a - N_b - N_c)}}{R_R}$$

Posons :

$$\frac{R_R + R_F}{R_R} = S$$

Nous pouvons écrire :

$$N_d = 20 \log \frac{S}{K}$$

K étant un nombre arbitrairement choisi.

TABLEAU 3

*Etalonnage d'un récepteur du S.F.E.R.T.*Microphone n° 3978 — Valeur du facteur $N_a = 5$ décibels — Récepteur n° 23.

Hertz	Efficacité du microphone (N_a)	Facteur tenant compte de l'impédance du récepteur (N_d)	Somme des grandeurs $N_a + N_c + N_d$	N_b	Valeur de l'efficacité récepteur (db par rapport à 1 barye par volt)
100	-49,6	-28,9	-83,5	+58,6	24,9
200	-50,3	-28,9	-84,2	+59,0	25,2
300	-50,4	-28,9	-84,3	+59,1	25,2
400	-50,3	-28,9	-84,2	+59,3	24,9
500	-50,8	-28,9	-84,7	+59,3	25,4
600	-50,7	-28,8	-84,5	+59,1	25,4
700	-50,9	-28,8	-84,7	+59,3	25,4
800	-50,9	-28,8	-84,7	+59,5	25,2
900	-50,7	-28,7	-84,4	+59,8	24,6
1 000	-50,4	-28,7	-84,1	+59,5	24,6
1 100	-50,5	-28,7	-84,2	+59,2	25,0
1 200	-50,5	-28,7	-84,2	+58,9	25,3
1 300	-50,2	-28,7	-83,9	+59,2	24,7
1 500	-50,8	-28,6	-84,4	+58,6	25,8
1 800	-50,3	-28,6	-83,9	+58,6	25,3
2 100	-50,6	-28,5	-84,1	+58,6	25,5
2 400	-50,6	-28,5	-84,1	+59,2	24,9
2 700	-49,9	-28,4	-83,3	+59,7	23,6
3 000	-49,9	-28,4	-83,3	+60,3	23,0
3 300	-49,3	-28,4	-82,7	+60,6	22,1
3 600	-49,4	-28,3	-82,7	+60,6	22,1
4 000	-49,5	-28,3	-82,8	+60,8	22,0
4 500	-49,3	-28,2	-82,5	+59,8	22,7
5 000	-49,4	-28,0	-82,4	+58,3	24,1
5 500	-49,9	-27,7	-82,6	+56,0	26,6
6 000	-50,9	-27,5	-83,4	+56,4	27,0
7 000	-52,4	-27,3	-84,7	+59,9	24,8
8 000	-55,9	-27,1	-88,0	+61,2	26,8
100,00	-59,6	-27,1	-91,7	+72,3	19,4
Valeur moyenne de l'efficacité (dans la bande des fréquences comprises entre 200 et 3600 Hz)					+24,7 db par rapport à 1 barye par volt

Faisons $K = 1$.

$$N_d = 20 \log S \quad \text{ou} \quad S = 10^{0,05 N_d}$$

Donc :

$$P'_R = 10^{0,05 (N_a - N_b - N_c + N_d)}$$

Remarque. — L'étalonnage du microphone : $E_T = 10^{0,05 N_c}$ donne toujours, avec les bases actuellement choisies, un nombre négatif pour N_c . En ne considérant que la valeur absolue $|N_c|$ de N_c , on aura :

$$P'_R = 10^{0,05 (N_a - N_b + (-N_c) + N_d)}$$

$$\text{ou} \quad N_a + N_c + N_d - N_b = 20 \log P'_R$$

N_a est choisi, en général, égal à 5 db.

N_c dépend du microphone employé (varie avec la fréquence).

N_d dépend de l'impédance du récepteur (varie avec la fréquence).

Note. — Si le récepteur mesuré a une impédance supérieure à 100 ohms, l'impédance R_F devient inutile, et le facteur de correction N_d disparaît.

4.2 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

L'efficacité d'un récepteur du S.F.E.R.T. est exprimée en décibels par rapport à la base de 1 barye par volt, et elle est la valeur moyenne des valeurs trouvées avec les quatre microphones disponibles.

Un récepteur est considéré comme satisfaisant si la valeur de son efficacité (moyenne arithmétique des valeurs obtenues pour 20 fréquences comprises entre 200 et 3 600 Hz), est comprise dans les limites de 26 db \pm 3 db au-dessus de 1 barye par volt.

Le Laboratoire du C.C.I.F. dispose de la documentation donnant les directives à suivre pour effectuer de tels étalonnages.

A titre d'exemple, le tableau 3 (page 40) donne les valeurs de l'efficacité d'un récepteur du S.F.E.R.T.

5. Etalonnage de l'amplificateur du système émetteur

Cet étalonnage consiste à mesurer le gain de l'amplificateur du système émetteur dans ses conditions normales d'utilisation sur la ligne artificielle sans distorsion ($Z = 600$ ohms). Le principe de la mesure est indiqué par le schéma de la figure 7.

L'impédance de sortie de l'affaiblisseur (4 ohms) étant petite devant l'impédance d'entrée de l'amplificateur (200 mégohms) et devant celle du voltmètre, la commutation A-B ne modifie pas la valeur de la tension à la sortie de l'affaiblisseur. Il en est de même pour la tension à la sortie de l'amplificateur du système émetteur. La commutation indiquée permet donc de comparer cette tension de sortie U_1 à la force électromotrice injectée en série avec le microphone.

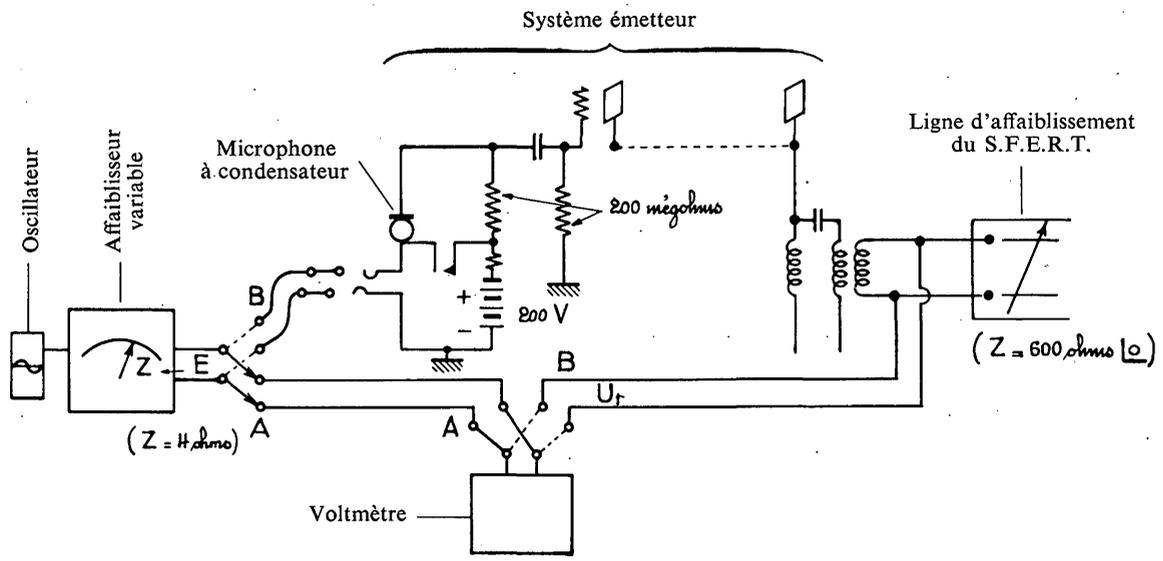


FIGURE 7

La mesure comprend deux parties :

- a) Les commutateurs sont placés dans la position A.

Le cadran de réglage de l'affaiblisseur étant sur la valeur N_1 (en général 30 décibels) on règle l'oscillateur de manière à obtenir une déviation convenable sur le voltmètre.

- b) On place les commutateurs sur la position B.

On agit sur l'affaiblisseur pour retrouver sur le voltmètre la même déviation que précédemment. La différence entre le nouvel affaiblissement N_2 et l'ancien N_1 mesure le gain de l'amplificateur.

Le gain de l'amplificateur du système émetteur du S.F.E.R.T. est pratiquement indépendant de la fréquence (dans la bande allant de 100 à 7 000 Hz); sa valeur nominale est de 19,0 db à 1 000 Hz (ses cadrans de réglage étant sur la position 0); à 10 000 Hz, sa valeur est de 18,0 db.

Lors du « réglage normal » du système émetteur du S.F.E.R.T., on tient compte pour régler l'amplificateur d'émission de l'efficacité individuelle des microphones de façon à obtenir les valeurs caractéristiques définissant le « réglage normal » du système émetteur du S.F.E.R.T. (voir le tome IV du *Livre Vert*, section IV.3.1.2).

6. Etalonnage de l'amplificateur du système récepteur

Cet étalonnage consiste à mesurer le gain de l'amplificateur dans ses conditions normales d'utilisation, c'est-à-dire terminé sur l'impédance d'un récepteur.

Le schéma de principe est donné dans la figure 8.

Le mode opératoire est le même que lors de la mesure de l'amplificateur du système émetteur.

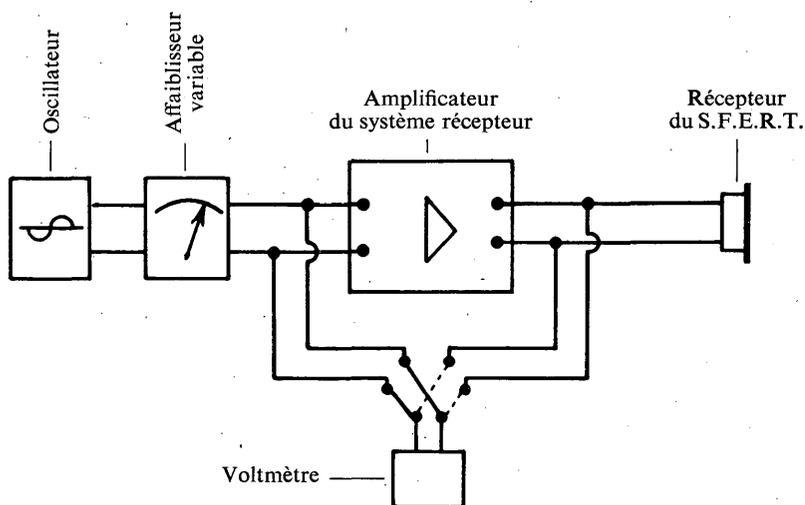


FIGURE 8

Le gain de l'amplificateur du système récepteur du S.F.E.R.T. est pratiquement indépendant de la fréquence (dans la bande allant de 100 à 7 000 Hz); sa valeur nominale est de $-2,0$ db à 1 000 Hz (ses cadrans étant sur la position 0) ; à 10 000 Hz, sa valeur est de $-2,8$ db.

Lors du « réglage normal » du système récepteur du S.F.E.R.T., on tient compte pour régler l'amplificateur de réception de l'efficacité individuelle des récepteurs de façon à obtenir les valeurs caractéristiques définissant le « réglage normal » du système récepteur S.F.E.R.T. (voir le tome IV du *Livre Vert*, section IV.3.1.2).

7. Réglage normal du S.F.E.R.T.

L'efficacité théorique du S.F.E.R.T. est définie pour chaque fréquence (comprise entre 100 et 5 000 Hz), pour le système émetteur d'une part, et pour le système récepteur d'autre part, dans le tome IV du *Livre Vert*, section IV.3.1.2.

L'efficacité moyenne du système émetteur, tenant compte de l'efficacité moyenne du microphone utilisé, est réglée à $-31,5$ db par rapport à 1,0 volt par barye.

A partir de la valeur moyenne de l'efficacité d'un microphone donné (dans la bande des fréquences comprise entre 200 et 3 600 Hz) et du gain nominal de l'amplificateur du système émetteur (valeur mesurée, § 5), on détermine les corrections à apporter au gain de l'amplificateur (à partir du gain nominal), pour avoir le « réglage normal » du système émetteur du S.F.E.R.T. (comme il est indiqué dans le tableau ci-dessous).

Efficacité moyenne du microphone utilisé	Gain moyen de l'amplificateur du système émetteur	« Réglage normal » du système émetteur du S.F.E.R.T.	Efficacité du système émetteur du S.F.E.R.T. (1) + (2)	Correction à apporter au gain de l'amplificateur du système émetteur
1	2	3	(1) + (2)	
$-50,4$ db	$+19,0$ db	$-31,5$ db	$-31,4$ db	$-0,1$ db

L'efficacité moyenne du système récepteur tenant compte de l'efficacité moyenne du récepteur utilisé est de $+24,2$ db, par rapport à une barye par volt.

De même pour déterminer le « réglage normal » du système récepteur du S.F.E.R.T. on tient compte de la valeur moyenne de l'efficacité du récepteur utilisé (dans la bande des fréquences comprises entre 200 et 3 600 Hz) et du gain nominal (valeur mesurée) de l'amplificateur de réception. Les corrections à apporter au réglage du gain de l'amplificateur (à partir du gain nominal) sont obtenues comme il est indiqué dans le tableau ci-dessous.

Efficacité moyenne du récepteur utilisé	Gain moyen de l'amplificateur du système récepteur	« Réglage normal » du système récepteur du S.F.E.R.T.	Efficacité du système récepteur du S.F.E.R.T. (1) + (2)	Correction à apporter au gain de l'amplificateur du système récepteur
1	2	3	(1) + (2)	
$+24,7$ db	$-2,0$ db	$+24,2$ db	$+22,7$ db	$+1,5$ db

L'efficacité du S.F.E.R.T. complet, sans distorsion, et avec 0 db dans la ligne définissant ainsi le « réglage normal du S.F.E.R.T. complet » est de $-7,3$ db par rapport à une barye par barye.

Dans une mesure d'équivalent de référence, à l'émission ou à la réception, la ligne d'affaiblissement du S.F.E.R.T. est réglée à 24 db. Ainsi l'efficacité totale du S.F.E.R.T. complet, en l'absence de toute autre ligne d'affaiblissement supplémentaire est de $-31,3$ db par rapport à une barye par barye.

Remarque. — Le système émetteur et le système récepteur du S.F.E.R.T. comprennent des réseaux de distorsion qui donnent aux caractéristiques « efficacité-fréquence » de ces deux systèmes des caractéristiques semblables à celles de systèmes téléphoniques commerciaux d'un modèle très ancien.

Le Laboratoire du C.C.I.F. continue, comme dans le passé, à effectuer les mesures d'étalonnage dans ces conditions, mais toutefois, le S.F.E.R.T. n'est jamais ainsi utilisé lors de mesure d'équivalent de référence.

8. Mesure du bruit engendré dans les organes constitutifs du S.F.E.R.T.

Afin de s'assurer que les bruits engendrés dans les éléments du S.F.E.R.T. sont inférieurs à une limite tolérable donnée, on détermine l'effet de masque apporté par ces bruits sur différents sons sinusoïdaux.

En résumé, la méthode consiste à injecter une tension sinusoïdale en série avec le microphone à condensateur associé au système émetteur du S.F.E.R.T. Les essais sont faits avec et sans la tension de polarisation du microphone à condensateur. Quand la tension de polarisation est appliquée au microphone, ce dernier doit être protégé contre les vibrations acoustiques par un couvercle spécial. Dans les deux cas, on règle au maximum le gain des amplificateurs du système émetteur et du système récepteur du S.F.E.R.T. et l'on supprime tout l'affaiblissement dans la ligne artificielle du S.F.E.R.T. Un observateur écoute alors dans le récepteur à bobine mobile du S.F.E.R.T. et si l'intensité du bruit est inférieure à la limite maximum admissible, il entend le son sinusoïdal. Si le bruit masque le son sinusoïdal, on essaie de réduire le bruit dans le système ; on suppose que l'on a éliminé au préalable les erreurs dans le câblage ou les connexions des éléments du système, et que l'observateur a une ouïe normale. Ces essais se font dans une pièce silencieuse (cabine d'écoute).

On peut considérer le système comme satisfaisant au point de vue du bruit si l'on commence à entendre le son avec un réglage de la ligne artificielle d'affaiblissement supérieur à 60 décibels, à 100 Hz et supérieur à 80 décibels pour chacune des autres fréquences ; ces chiffres représentent la moyenne des résultats obtenus avec cinq observateurs.

BIBLIOGRAPHIE

P. CHAVASSE. — *Mesures acoustiques et téléphonométriques* (1943).

P. RIETY. — Retour sur la théorie du thermophone à feuilles d'or (*Annales des Télécommunications*, administration française), 1955, tome 10, n° 7-8.

II. CYCLE D'ÉTALONNAGE ABSOLU DE L'A.R.A.E.N. AU LABORATOIRE DU C.C.I.F.

1. Principes généraux de l'étalonnage électro-acoustique

Chacun des microphones utilisé avec l'A.R.A.E.N. a subi un étalonnage dans le champ acoustique libre et chacun des récepteurs téléphoniques a été étalonné sur une oreille artificielle.

On se borne, au Laboratoire du C.C.I.F., à vérifier la stabilité dans le temps des microphones en effectuant périodiquement leur étalonnage par rapport à la pression appliquée à leur diaphragme dans des conditions spécifiées. Cet étalonnage s'effectue en deux temps.

1. On effectue un étalonnage acoustique absolu d'un microphone à sonde au moyen d'un tuyau sonore à ondes stationnaires et d'un disque de Rayleigh. La théorie de cet étalonnage est donnée au § 2 ci-après. La mesure de la tension électrique développée aux bornes de ce microphone permet alors de déterminer la pression acoustique appliquée à l'extrémité de la sonde du microphone ; par ailleurs, cette sonde perturbe très peu le champ acoustique dans lequel on l'introduit. Par conséquent, les microphones à sonde ainsi étalonnés permettent la mesure absolue d'une pression acoustique.

2. On étalonne les microphones et les récepteurs de l'A.R.A.E.N. dans les conditions spécifiées suivantes.

- a) Pour étalonner un microphone de l'A.R.A.E.N., on le couple acoustiquement, au moyen du coupleur clos (voir la figure 3) à un récepteur téléphonique utilisé comme source sonore (alimenté par un oscillateur à fréquence réglable) et l'on introduit dans la cavité du coupleur l'extrémité de la sonde d'un microphone à sonde, étalonné comme il a été indiqué ci-dessus. On mesure la tension aux bornes du microphone de l'A.R.A.E.N. quand on lui applique une pression acoustique mesurée au moyen du microphone à sonde, ce qui détermine l'efficacité du microphone de l'A.R.A.E.N. dans ces conditions particulières de mesure, pour chaque fréquence de mesure.
- b) Pour étalonner un récepteur de l'A.R.A.E.N., on le fixe sur l'oreille artificielle, dont l'impédance acoustique représente approximativement la moyenne de valeurs relevées sur des oreilles humaines et qui contient un microphone à sonde permettant de mesurer la pression acoustique en un point bien déterminé de la cavité de cette oreille artificielle. En appliquant une tension connue, à une fréquence donnée, aux bornes du récepteur et en mesurant la pression produite dans la cavité de l'oreille artificielle, on en déduit l'efficacité du récepteur à cette fréquence.

Remarque. — Le rapport de recherches n° 13 200 de l'Administration britannique des téléphones contient quelques indications théoriques sur ces méthodes d'étalonnage et les résultats des premiers étalonnages effectués après l'installation de l'A.R.A.E.N. au Laboratoire du C.C.I.F. à Genève.

2. Théorie de l'étalonnage de microphones avec un tuyau sonore à ondes stationnaires et à un disque de Rayleigh *

2.1 THÉORIE DU DISQUE DE RAYLEIGH

On sait qu'un disque circulaire mince, suspendu dans un fluide animé d'une vitesse horizontale V , est soumis à un couple de moment M donné par la formule

$$M = \frac{1}{6} \rho d^3 V^2 \sin 2\theta \quad (1)$$

où ρ est la masse spécifique du fluide,
 d le diamètre du disque,
 V la vitesse du fluide,
 θ l'angle entre la direction du déplacement du fluide et une normale au disque.

Cette formule a été démontrée théoriquement par Konig, en assimilant le disque à un ellipsoïde très aplati.

Le sens de ce couple est indépendant du signe de V , par suite, si le déplacement du fluide est alternatif, la formule (1) reste vraie en désignant par V la valeur efficace de la vitesse.

En pratique, on s'arrange pour que la position de repos du disque (quand le fluide est immobile) corresponde à $\theta = 45^\circ$: soit alors φ le déplacement angulaire

$$\varphi \text{ (radians)} = \theta - \frac{\pi}{4} \quad (2)$$

Si K est le moment de torsion du fil de suspension du disque, on a

$$M = K\varphi = \frac{1}{6} \rho d^3 V^2 \quad (3)$$

φ étant toujours assez petit pour que l'on puisse confondre $\frac{\sin \varphi}{\varphi}$ avec l'unité.

On tire de l'équation (3)

$$V = \sqrt{\frac{6K}{\rho d^3}} \sqrt{\varphi} \quad (4)$$

Si l'on observe à la distance l le déplacement δ d'un rayon lumineux réfléchi sur le disque de Rayleigh, utilisé comme miroir, on a

$$\delta = 2\varphi l$$

$$\text{et} \quad V = \sqrt{\frac{3K}{\rho l d^3}} \sqrt{\delta} \quad (5)$$

On a déterminé à l'avance le moment de torsion K du fil en y suspendant, à l'extrémité où l'on fixera ensuite le disque de Rayleigh, un disque à axe vertical

* D'après W. WEST, *Acoustical Engineering* (Pitman and Sons, London, 1932).

de moment d'inertie J connu. On observe la période T et le décrement logarithmique de moment d'inertie J connu. On observe la période T et le décrement logarithmique D des oscillations libres de ce disque; et l'on a

$$K = \frac{J}{T^2} (4 \pi^2 + D^2) \quad (6)$$

La formule (5) donne alors directement la vitesse V en fonction du déplacement observé.

2.2 EMPLOI D'UN TUYAU SONORE A ONDES STATIONNAIRES

Diverses méthodes ont été imaginées pour soustraire le disque de Rayleigh à l'action des courants d'air parasites, qui troublent la mesure.

Dans l'équipement de mesures électro-acoustiques de l'A.R.A.E.N., on emploie la méthode suivante. Le microphone à sonde à étalonner est placé à une extrémité d'un long tuyau; la source sonore, placée à l'autre extrémité du tuyau, est un récepteur téléphonique alimenté en courant alternatif par un oscilateur à fréquence réglable.

On règle cette fréquence de façon à produire un régime d'ondes stationnaires où les deux extrémités du tuyau sont des ventres de pression, tandis que le milieu du tuyau, où est suspendu le disque de Rayleigh, correspond à un maximum de vitesse (donc à un nœud de pression); on reconnaît l'existence d'un tel régime à ce que l'on obtient des maxima simultanés de l'intensité du courant I à la sortie du microphone et de la déviation du disque de Rayleigh. La longueur d'onde correspondante est

$$\lambda = \frac{2L}{n} \quad (7)$$

où L est la longueur du tuyau sonore et, n , un nombre impair quelconque. La fréquence la plus basse que l'on peut utiliser correspond à la longueur d'onde $\lambda_1 = 2L$. La fréquence la plus élevée est limitée par l'apparition de vibrations transversales qui peuvent déformer les ondes stationnaires.

Avec l'équipement et le tube employés au Laboratoire du C.C.I.F. cette limite supérieure se trouve aux environs de 6 500 à 7 000 Hz.

La théorie du disque de Rayleigh permet de déterminer la vitesse V au milieu du tube, par la formule (5) ci-dessus, en fonction de la déviation mesurée. On en déduit la pression P aux extrémités du tube par la formule

$$P = \rho c V \quad (8)$$

où ρ est toujours la masse spécifique du fluide (ici l'air).

c est la vitesse de propagation du son dans l'air (autrement dit, ρc est l'impédance acoustique de l'air). (Il est bien connu que cette formule s'applique à la pression et à la vitesse en un même point d'une onde progressive plane. On démontre qu'elle s'applique au cas présent en considérant l'onde stationnaire comme résultant de la superposition de deux ondes progressives se propageant en sens inverse).

On mesure I avec un milliampèremètre; connaissant le rapport I/P on en déduit l'efficacité du microphone. On voit qu'il s'agit d'un étalonnage par rapport

à la pression appliquée au diaphragme du microphone (ou à l'extrémité de la sonde, s'il s'agit d'un microphone à sonde), comme dans la méthode du thermophone ou la méthode de compensation, et non par rapport à la pression qui existerait, en l'absence du microphone, au point où on l'introduit, comme dans les méthodes d'étalonnage dans le champ acoustique libre.

3. Méthode pratique d'étalonnage d'un microphone à sonde avec le disque de Rayleigh

Avant de procéder aux mesures d'étalonnage d'un microphone à sonde, il est nécessaire de régler le tuyau sonore à ondes stationnaires à la longueur convenable et de placer un disque de Rayleigh en l'amenant soigneusement au centre du tuyau. Le disque doit ensuite subir une rotation d'environ 45° (voir § 2 ci-dessus); ainsi on obtient une image lumineuse sur une règle graduée translucide. De petits écarts, à partir de la position du disque correspondant à un angle de 45° , introduisent dans l'étalonnage une erreur négligeable et l'on peut en outre imprimer à la règle graduée un léger déplacement latéral pour que la tache lumineuse apparaisse sur la graduation 0 de cette échelle.

Les figures 1 et 2 donnent les montages réalisés pour une telle mesure. Des commutateurs spéciaux permettent de réaliser successivement les connexions électriques.

Pour chacune des fréquences d'étalonnage choisies, il est d'abord nécessaire de trouver la fréquence de résonance la plus proche en employant les diverses longueurs de tuyau sonore. La résonance est rendue visible soit par le mouvement de la tache lumineuse elle-même, soit par la déviation de l'aiguille du voltmètre. Ces deux indications doivent indiquer simultanément la pointe de résonance par une déviation maximum, sinon il y aurait lieu de suspecter une fuite ou un défaut de montage dans le tuyau sonore.

3.1 MESURE DE LA TENSION A LA SORTIE DU MICROPHONE A SONDE QUAND UNE PRESSION P LUI EST APPLIQUÉE (voir figure 1)

Les connexions électriques réalisées par les commutateurs étant faites, on règle la tension de sortie de l'oscillateur de façon à obtenir la « déviation normale » de la tache lumineuse et l'on règle en même temps l'amplificateur d'émission de façon à lire une déviation convenable x sur le voltmètre; la « déviation normale » est obtenue à partir des constantes du disque de Rayleigh qui ont été déterminées préalablement.

Par exemple si, pour un disque donné, on a la relation suivante entre la pression acoustique et la déviation de la tache lumineuse: $P = 12,7 \sqrt{\delta}$ baryes.

En prenant une valeur de pression P de 50 baryes, c'est-à-dire une valeur commode pour les calculs, on en déduit pour δ , la valeur de 15,5 cm. Cette déviation de 15,5 cm de la tache lumineuse par rapport au zéro de la règle graduée est appelé « déviation normale » et est utilisée pour les mesures effectuées avec ce disque.

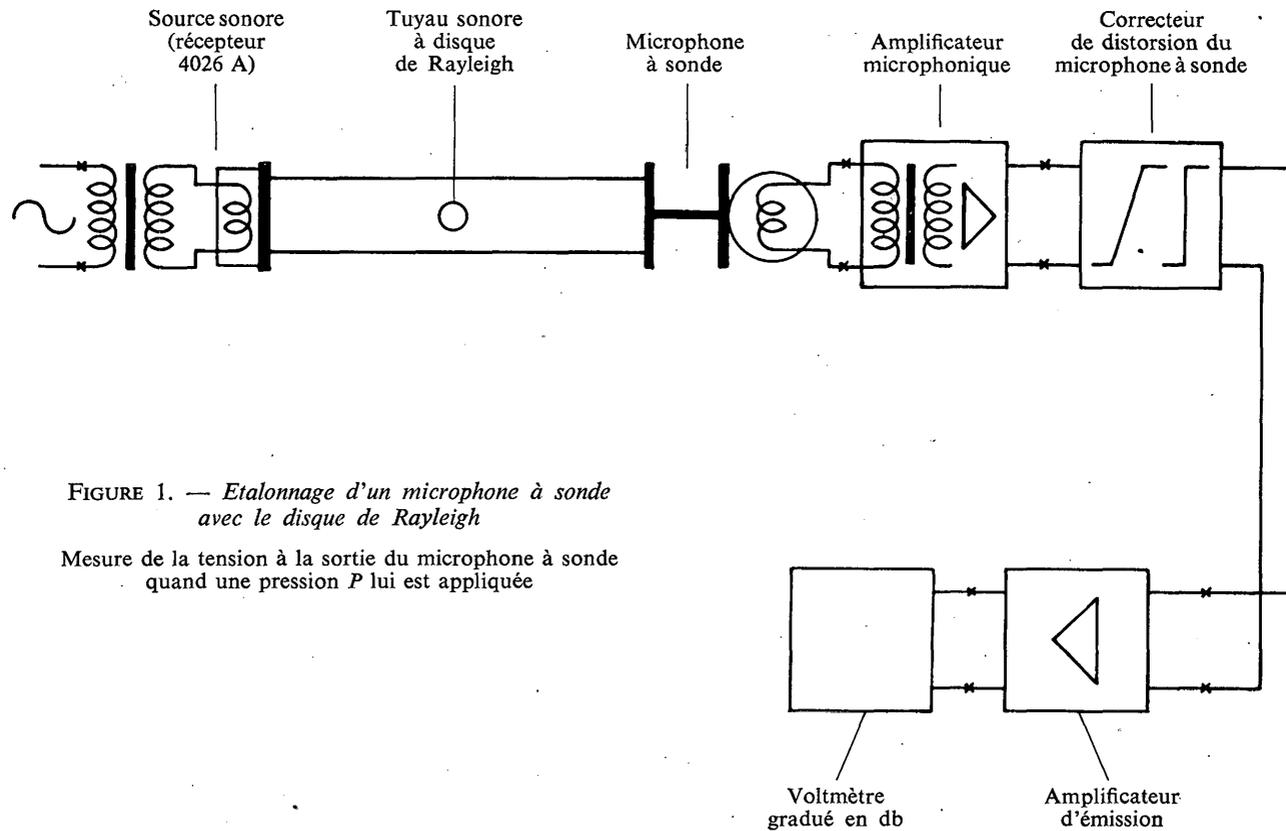


FIGURE 1. — *Etalonnage d'un microphone à sonde avec le disque de Rayleigh*

Mesure de la tension à la sortie du microphone à sonde quand une pression P lui est appliquée

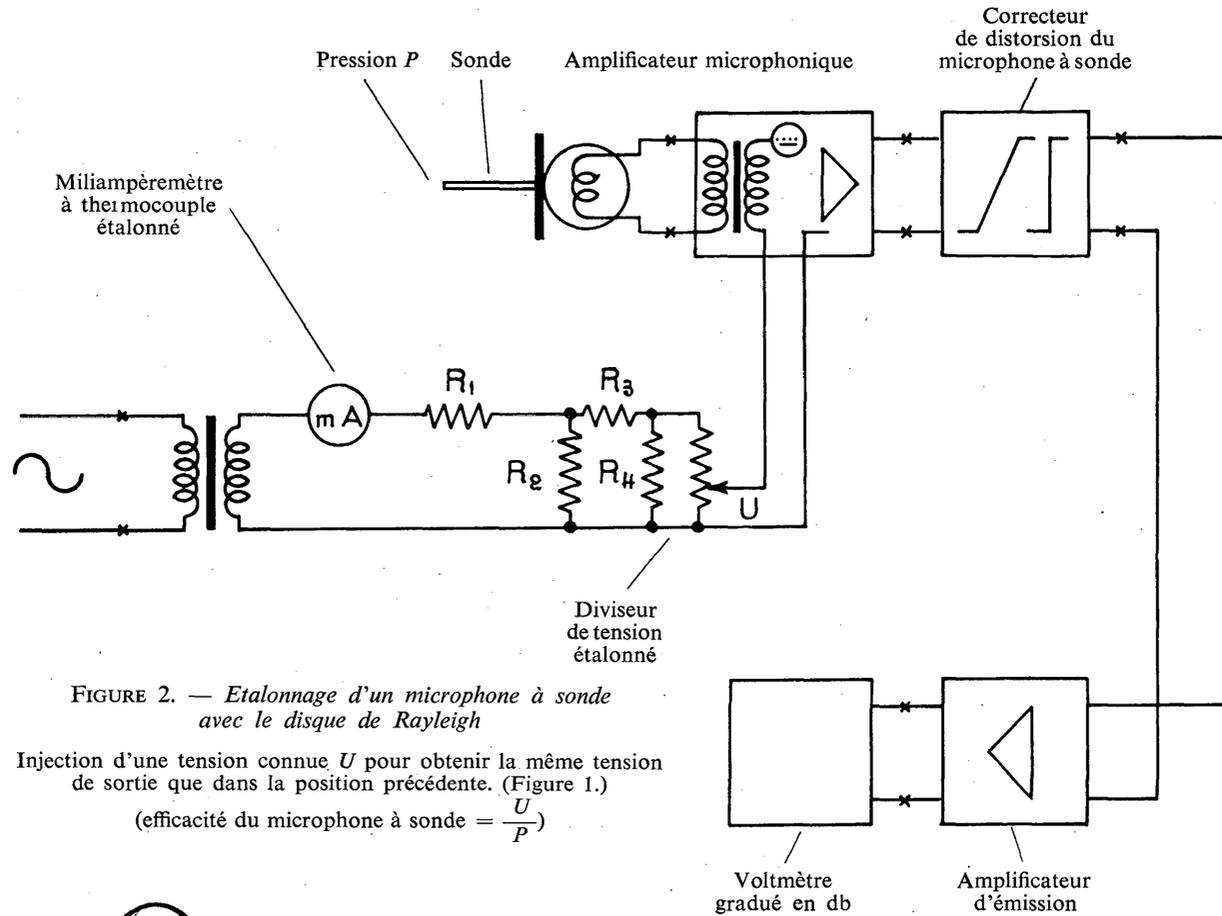


FIGURE 2. — Etalonnage d'un microphone à sonde
avec le disque de Rayleigh

Injection d'une tension connue U pour obtenir la même tension
de sortie que dans la position précédente. (Figure 1.)

(efficacité du microphone à sonde = $\frac{U}{P}$)



3.2 DÉTERMINATION DE LA VALEUR DE LA TENSION CORRESPONDANT A LA DÉVIATION « x » SUR LE VOLTMÈTRE (voir figure 2)

Dans cette position de mesure, on substitue à la force électromotrice développée par le microphone à sonde sous l'effet de la pression acoustique P à l'extrémité du tuyau sonore à ondes stationnaires, une tension connue, U , étalonnée de façon à obtenir la même déviation « x » sur le voltmètre. Cette tension étalonnée est obtenue, comme le montre la figure 2, à partir de la valeur de l'intensité indiquée par un milliampermètre à thermo-couple étalonné. Par exemple, au Laboratoire du C.C.I.F., lorsque le milliampermètre à thermo couple est réglé sur la déviation de 15 milliampères (graduation rouge, qui est la graduation repère) cela correspond à une tension de 10 millivolts à l'entrée du diviseur de tension. On règle le diviseur de tension jusqu'à obtenir la déviation « x » sur le voltmètre ; les cadrans du diviseur de tension sont gradués directement en valeurs de tension.

A partir de ces valeurs, on peut déterminer l'efficacité du microphone à sonde comme il est indiqué dans le tableau ci-après :

Fréquence	Tension injectée U	Efficacité du microphone		Remarques
		U/P ($P = 50$ baryes)	$20 \log_{10} U/P$	
Hz	mV	mV/barye	db par rapport à 1 mV/barye	Pression acoustique constante $P = 12,7 \sqrt{\delta}$ (pour le disque choisi) $P = 50$ baryes
154	0,84	0,0168	-35,5 ou -95,5 db 1 V/barye	

On répète les mesures pour des multiples impairs de la fréquence fondamentale de résonance (pour laquelle la longueur du tuyau est égale à une demi-longueur d'onde). Si l'on a choisi la longueur minimum pour le tuyau à ondes stationnaires, la fréquence fondamentale est de 154 Hz (exemple du tableau). Les fréquences de mesure seront environ de 450, 750... jusqu'à 7 000 Hz. Pour obtenir un plus grand nombre de résultats aux basses fréquences, on est obligé d'allonger le tube jusqu'à sa longueur maximum pour obtenir des multiples impairs de la fréquence fondamentale de résonance qui est dans ce cas de 80 Hz environ.

4. Etalonnage d'un microphone électrodynamique de l'A.R.A.E.N.

4.1 GÉNÉRALITÉS

Cette mesure est destinée essentiellement à vérifier la stabilité des microphones à bobine mobile de l'A.R.A.E.N. Le rapport de recherche n° 13 200 de l'Administration britannique donne une méthode de calcul de l'efficacité absolue du microphone *dans ces conditions particulières de mesure*.

Le microphone à étalonner est placé sur un coupleur clos formé par une petite cavité cylindrique fermée à une extrémité par un récepteur à bobine mobile qui sert de source sonore. A l'autre extrémité est placé le microphone à étalonner.

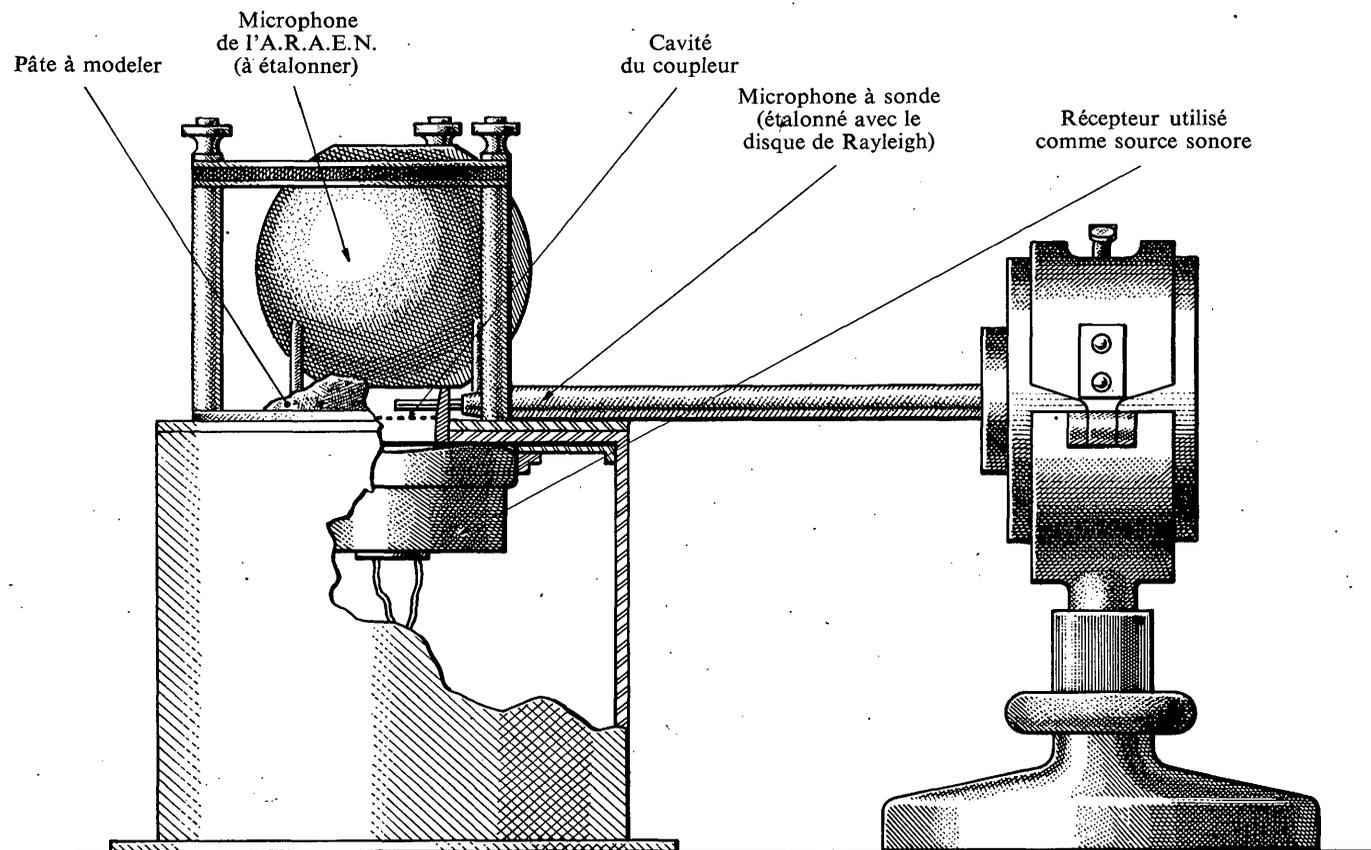


FIGURE 3. — Coupleur clos pour l'étalonnage des microphones à bobine mobile

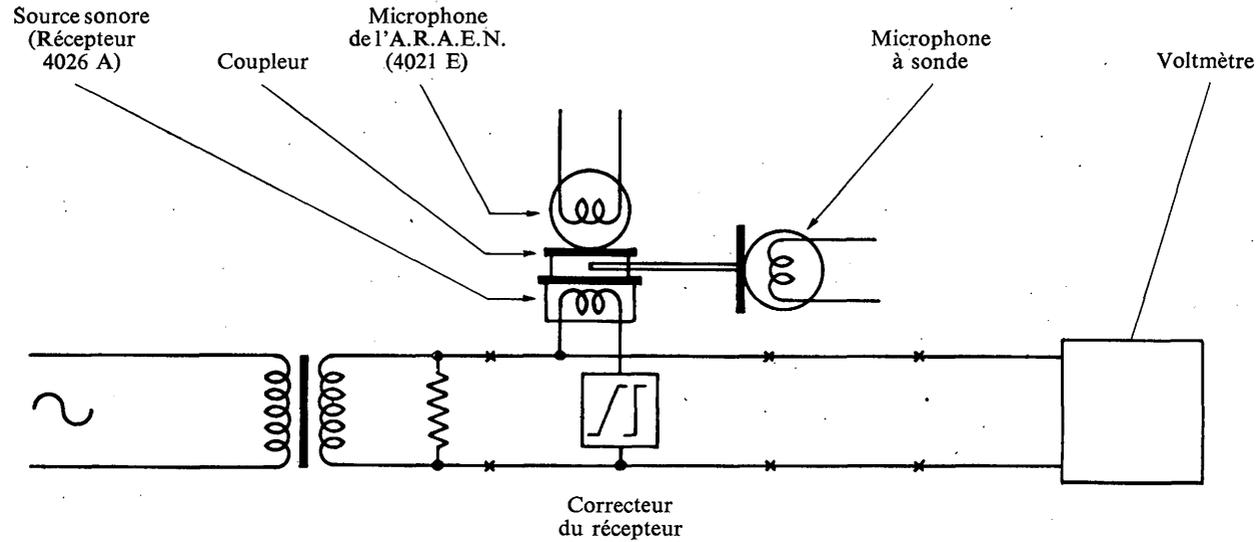


FIGURE 4. — Etalonnage d'un microphone de l'A.R.A.E.N.

Vérification de la tension appliquée au récepteur utilisé comme source sonore

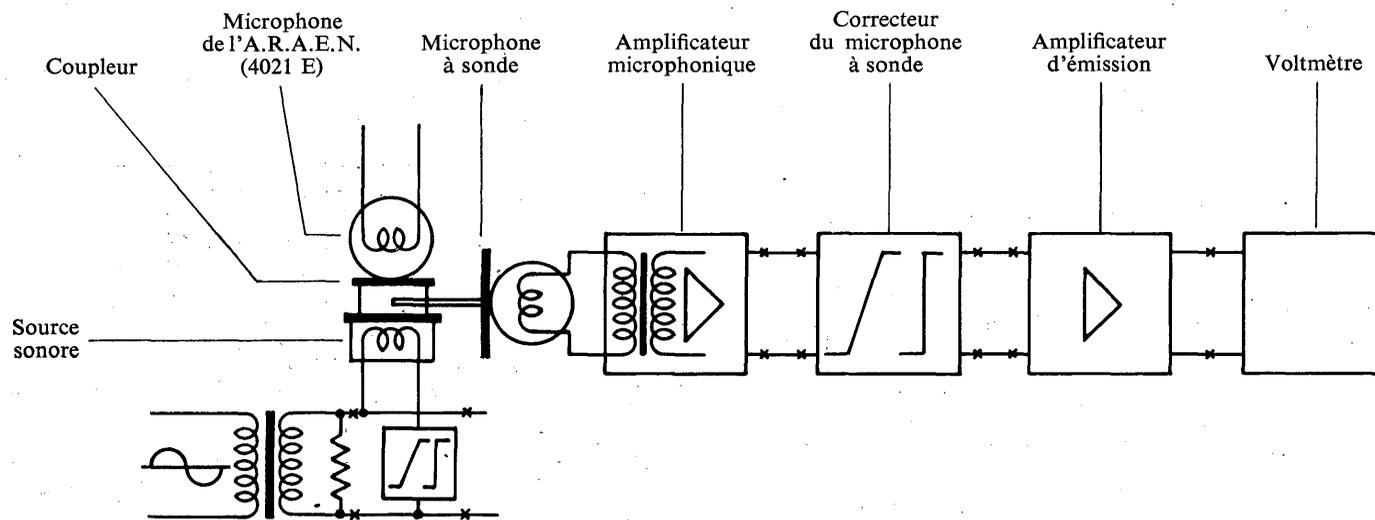


FIGURE 5. — Etalonnage d'un microphone de l'A.R.A.E.N.

Mesure de la tension à la sortie du microphone à sonde

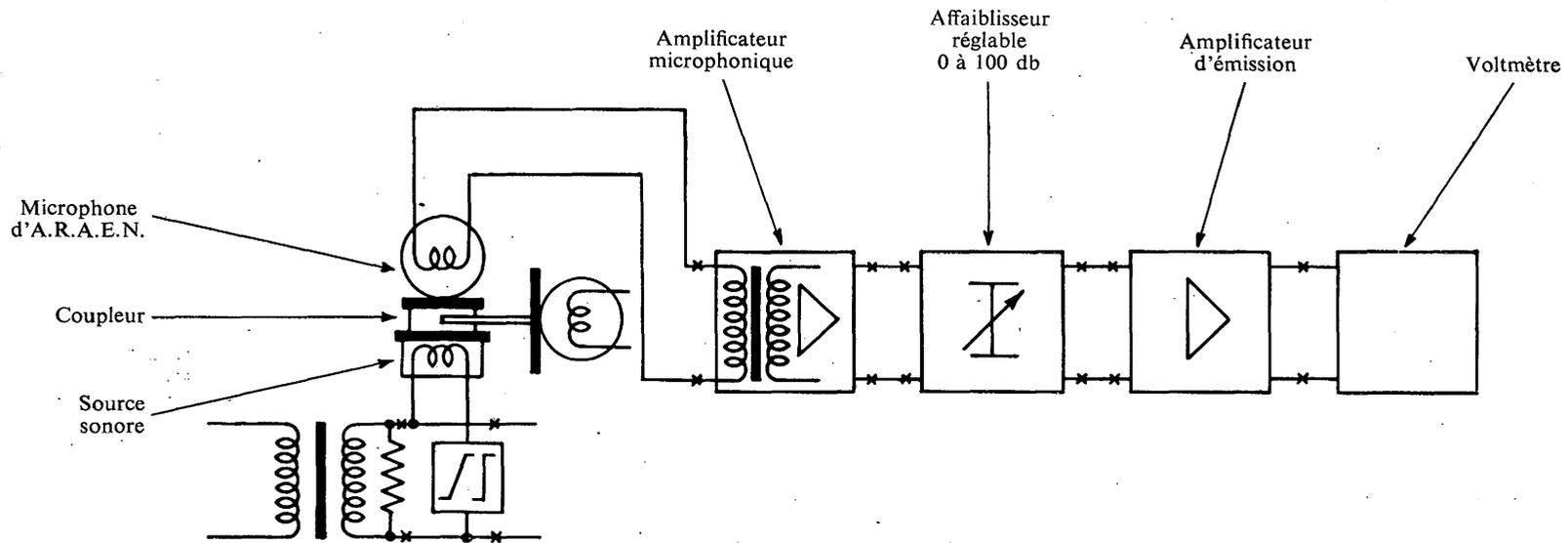


FIGURE 6. — *Etalonnage d'un microphone de l'A.R.A.E.N.*

Mesure de la tension à la sortie du microphone de l'A.R.A.E.N.

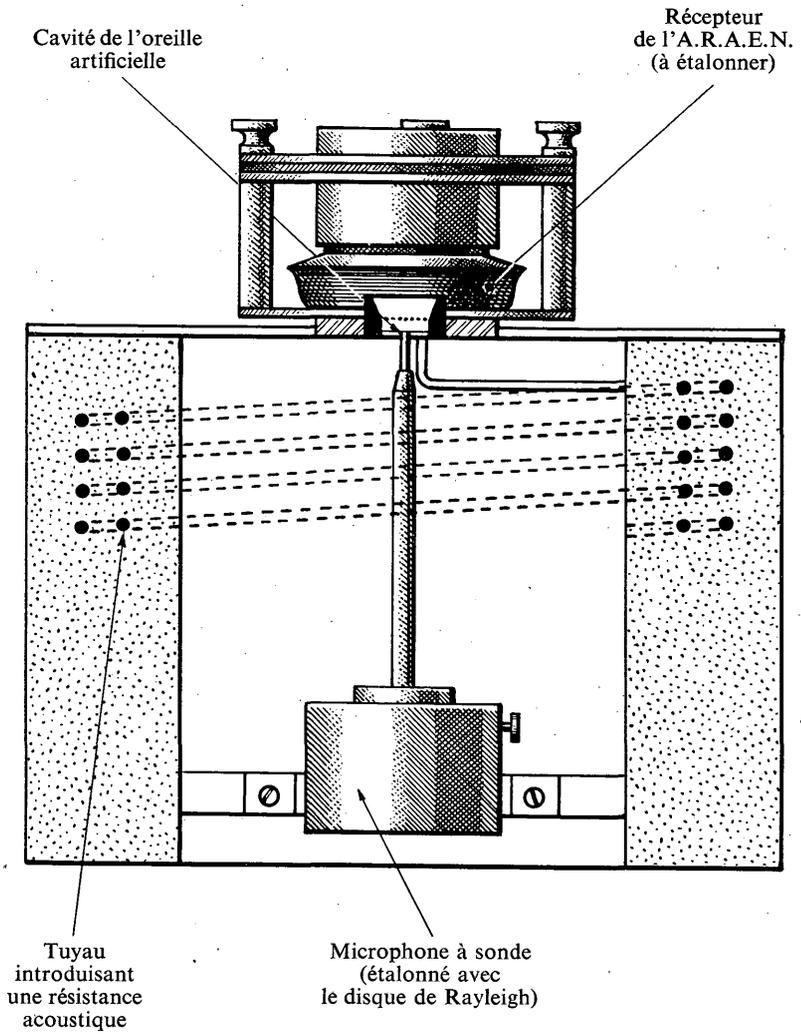


FIGURE 7. — Oreille artificielle pour l'étalonnage des récepteurs à bobine mobile

On introduit dans cette cavité, par un orifice prévu, l'extrémité de la sonde du microphone à sonde qui va mesurer la pression acoustique produite en un point bien déterminé et dont la position est définie avec précision au voisinage du diaphragme du microphone à étalonner. (La figure 3 montre la position des microphones et du récepteur sur le coupleur clos.)

4.2 VÉRIFICATION DE LA TENSION APPLIQUÉE AU RÉCEPTEUR UTILISÉ COMME SOURCE SONORE (voir la figure 4)

Dans cette condition de mesure, le voltmètre indique la tension aux bornes du récepteur. Il n'est pas absolument nécessaire avec un récepteur linéaire de relever cette valeur, mais cela permet de spécifier les conditions de mesures et de les reproduire. Généralement, on adopte une valeur de tension de -15 db par rapport à 1 volt à la fréquence 1 000 Hz.

4.3 MESURE DE LA TENSION A LA SORTIE DU MICROPHONE A SONDE (voir la figure 5)

Dans cette position de mesure, le voltmètre est placé à la sortie du microphone à sonde et, sans modifier la tension de sortie de l'oscillateur, on règle l'amplificateur d'émission de façon à obtenir une déviation convenable « y » du voltmètre.

4.4 MESURE DE LA TENSION A LA SORTIE DU MICROPHONE DE L'A.R.A.E.N. (voir la figure 6)

Dans cette position de mesure, on règle l'affaiblisseur (qui varie de 0 à 100 db) jusqu'à ce que le voltmètre indique exactement la même déviation « y ».

Si l'on ajoute, à la valeur qui est lue sur l'affaiblisseur, l'efficacité du microphone à sonde mesurée comme il est indiqué au § 3, on obtient une grandeur qui est fonction de l'efficacité du microphone de l'A.R.A.E.N. dans *ces conditions particulières de mesure*, qui doit rester constante dans toutes les séries de mesures et qui peut ainsi servir de critère de la stabilité du microphone de l'A.R.A.E.N. (voir aussi § 6).

5. Etalonnage d'un récepteur électrodynamique de l'A.R.A.E.N.

5.1 GÉNÉRALITÉS

L'étalonnage d'un récepteur électrodynamique de l'A.R.A.E.N. est obtenu en plaçant ce récepteur sur une oreille artificielle dont l'impédance acoustique représente approximativement la moyenne de valeurs relevées sur des oreilles humaines. Cette oreille artificielle se compose essentiellement d'une cavité cylindrique d'un volume de 3 cm^3 terminée à sa partie inférieure par un tuyau en spirale représentant l'impédance acoustique (voir la description de cette oreille artificielle dans l'Annexe 9 du Livre d'annexes au tome IV du *Livre Vert*).

La pression acoustique développée par le récepteur en un point bien déterminé de la cavité de cette oreille artificielle est mesurée à l'aide d'un microphone à sonde étalonné.

La figure 7 reproduit cette oreille artificielle avec le récepteur à étalonner ainsi que le microphone à sonde dans la position de mesure.

5.2 MESURE DE LA TENSION ÉLECTRIQUE APPLIQUÉE AUX BORNES DU RÉCEPTEUR A ÉTALONNER (figure 8, position 1)

L'on mesure la tension aux bornes du récepteur que l'on règle à une valeur convenable et qui est fixée, dans ce cas, au Laboratoire du C.C.I.F. à -15 db par rapport à 1 volt.

5.3 MESURE DE LA TENSION ÉLECTRIQUE A LA SORTIE DU SYSTÈME FORMÉ PAR LE MICROPHONE A SONDE ET SON AMPLIFICATEUR (figure 8, position 2)

On amène l'indication du voltmètre branché à la sortie de l'amplificateur à une valeur convenable vers le milieu de l'échelle. On note cette valeur.

5.4 RÉGLAGE DE LA TENSION D'INJECTION QUI SERA SUBSTITUÉE A LA FORCE ÉLECTROMOTRICE ENGENDRÉE PAR LE MICROPHONE A SONDE (voir figure 8, position 3)

Le voltmètre est placé à l'entrée du diviseur de tension et réglé à la valeur de -20 db par rapport à un volt ; c'est la tension aux bornes du système d'injection.

5.5 RÉGLAGE DE LA VALEUR DE LA TENSION D'INJECTION APPLIQUÉE DANS LE CIRCUIT DU MICROPHONE A SONDE (voir figure 8, position 4)

Dans cette mesure, les cadrans du diviseur de tension sont réglés de façon à obtenir sur le voltmètre la même déviation que dans la position 2.

On fait généralement les mesures à partir de la fréquence 80 Hz et pour une série de fréquences croissantes jusqu'à 7 000 Hz.

5.6 INTERPRÉTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Le tableau ci-après indique des résultats typiques. L'efficacité calculée à partir de ces résultats correspond au cas d'un étalonnage à tension constante (-15 db par rapport à 1 volt, mesurée à la fiche du récepteur), la pression acoustique étant mesurée à la base de la cavité de l'oreille artificielle.

Fréquence	Tension	Injectée	Efficacité du microphone à sonde	Pression acoustique	Efficacité du récepteur
Hz	mV	db par rapport à 1 mV	db par rapport à 1 mV/barye	db par rapport à 1 barye	db par rapport à 1 barye/volt
80	0,392	8,2	$-35,5$ (d'après la mesure décrite au § 3.2 ci-dessus)	$+27,3$	$+47,3$

Remarque. — Dans la pratique, quand on règle la tension à l'entrée du diviseur de tension, il y a un certain avantage pour la précision des lectures sur le voltmètre à employer un niveau de -15 db car cette indication se trouve au milieu de

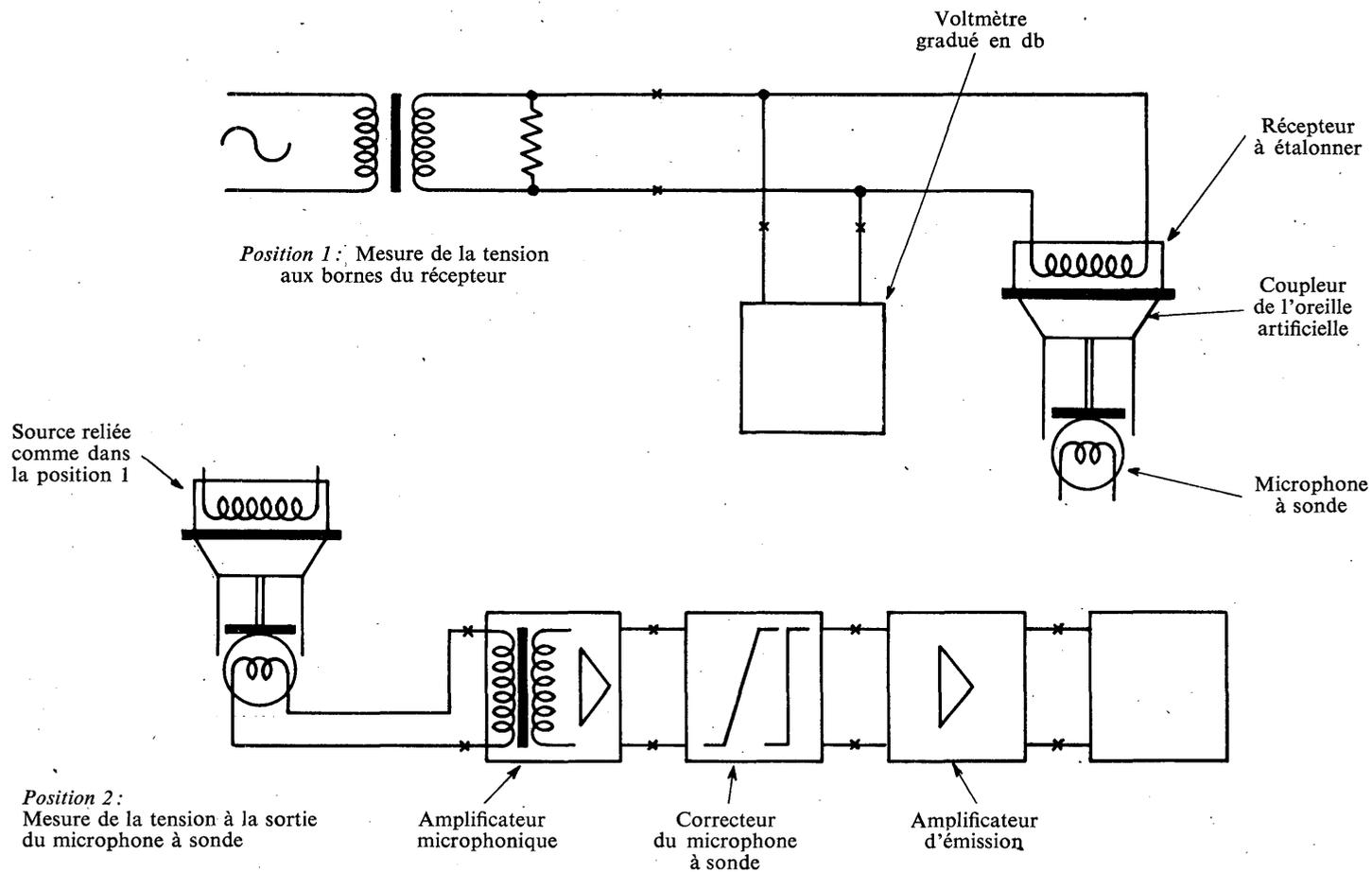


FIGURE 8. — Etalonnage d'un récepteur de l'A.R.A.E.N.

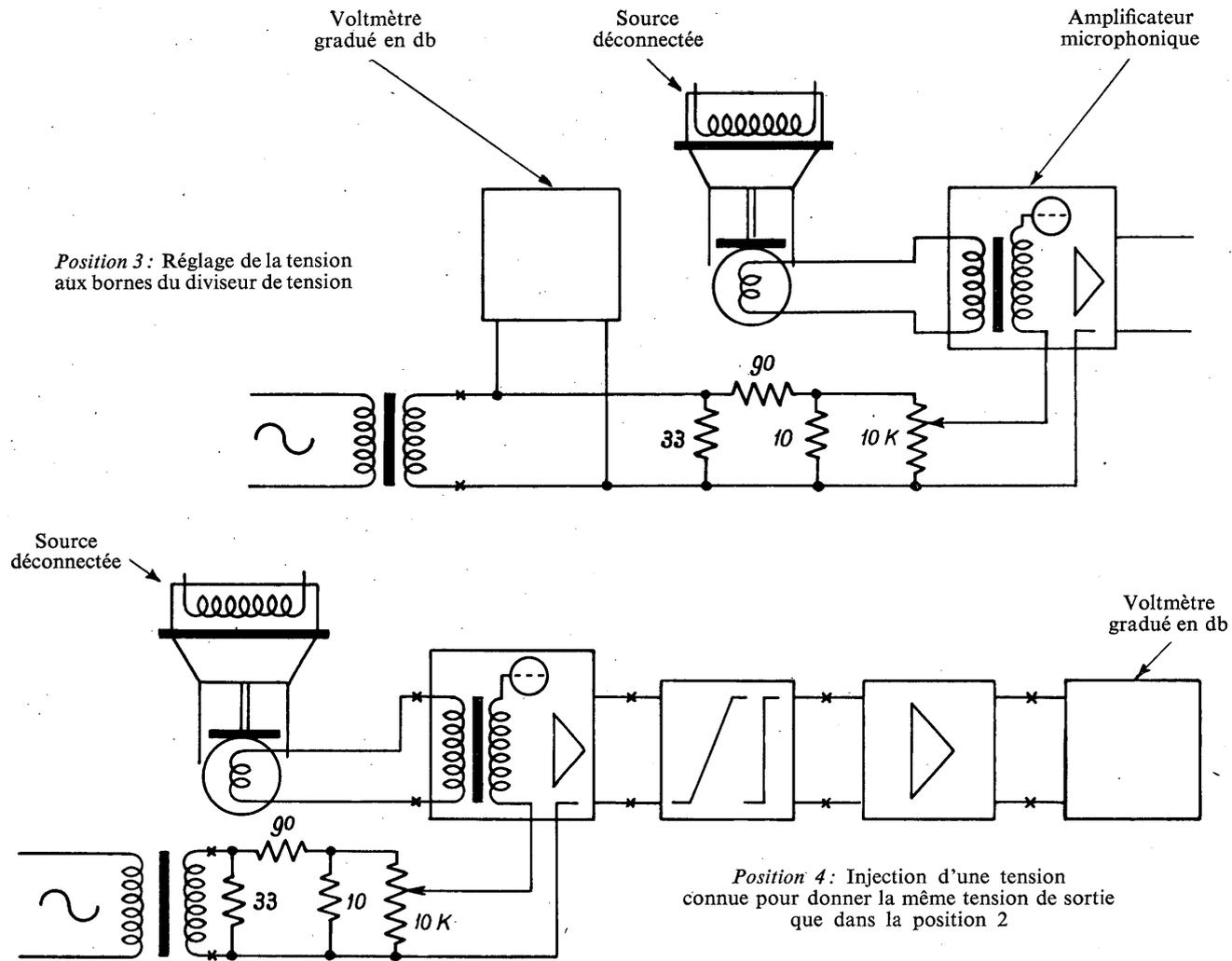


FIGURE 8 (suite). — Etalonnage d'un récepteur de l'A.R.A.E.N.

l'échelle du voltmètre alors que la division de -20 db, par suite de la forme courbée de l'échelle, n'est pas très visible. Dans ce cas il faut apporter la correction correspondante à la valeur de l'efficacité du récepteur.

6. Réglage du gain de l'amplificateur d'émission de l'A.R.A.E.N.

Des mesures décrites dans le rapport de recherches n° 13 180 de l'Administration britannique ont indiqué qu'une « pression vocale » de 1 barye règne en un point situé à 12 pouces (1 pouce = 2,54 cm) des lèvres d'un opérateur qui parle avec la « puissance vocale de référence pour l'A.R.A.E.N. » (pour la définition de l'expression « pression vocale » (speech pressure) voir le rapport précité). L'A.R.A.E.N. est muni d'un volumètre destiné à contrôler la puissance vocale de l'opérateur qui parle. Ce volumètre est branché à l'entrée de la ligne de l'A.R.A.E.N. et le gain de l'ensemble de la partie émettrice est réglé de telle sorte que, quand un opérateur parle avec la « puissance vocale de référence pour l'A.R.A.E.N. », la « tension vocale » à l'entrée de la ligne est égale à 1 volt. La sensibilité globale de chacun des microphones utilisés avec l'A.R.A.E.N. varie légèrement quand on passe d'un microphone à un autre, par conséquent le gain doit être réglé pour chaque microphone.

La caractéristique « efficacité-fréquence » de ces microphones (mesurée dans le champ acoustique libre) est approximativement horizontale avec une pointe de 5 db à 450 Hz, mais un correcteur de distorsion placé après l'amplificateur microphonique compense largement la présence de cette pointe. Une fois que l'on a tenu compte de cette compensation, il reste une variation d'efficacité de l'ordre de $\pm 0,5$ db dans la bande des fréquences de 100 à 1 000 Hz et une variation un peu plus grande en dehors de cette bande. Pour tenir entièrement compte de ces variations, il est nécessaire d'adopter une valeur moyenne d'efficacité ; cette valeur doit représenter l'efficacité du microphone dans toute la bande de fréquences vocales qui contient la plus grande partie de l'énergie correspondant aux courants vocaux, puisque ce sont les composantes comprises dans cette bande qui détermineront l'indication du volumètre. L'étude de la courbe spectrale énergétique de la voix humaine indique que la plus grande partie de cette puissance maximum se trouve dans la bande des fréquences de 100 à 900 Hz. Par conséquent, c'est dans cette bande de fréquences que l'on doit considérer l'efficacité du microphone. Comme la caractéristique « efficacité-fréquence » de l'ensemble du microphone et de son correcteur est sensiblement horizontale dans cette région, il y a lieu de prendre la moyenne arithmétique des efficacités du microphone à 100, 300 et 900 Hz. On peut alors utiliser cette valeur moyenne pour calculer le gain que doit avoir la partie émettrice de l'A.R.A.E.N. pour que la tension vocale soit de 1 volt à l'entrée de la ligne quand une « pression vocale » de 1 barye est appliquée au microphone. Le gain normal de l'ensemble de l'amplificateur microphonique et de l'amplificateur d'émission (gain défini comme égal à :

$$20 \log_{10} \frac{\text{tension mesurée à la sortie aux bornes d'une résistance de 600 ohms}}{\text{force électromotrice appliquée à l'entrée par un générateur de 20 ohms}}$$

est de 89 décibels et en comparant ce nombre au gain nécessaire dans le cas d'un microphone particulier utilisé, on peut déterminer le réglage de l'amplificateur

d'émission (les commandes de réglage du gain sont graduées en décibels par rapport au gain normal).

Le réglage du gain de l'amplificateur d'émission se ramène à une série d'opérations toujours les mêmes, qui s'effectuent en trois temps :

1. Prendre la caractéristique « efficacité-fréquence » du microphone en question (dans le champ acoustique libre) et soustraire des valeurs d'efficacité à 100, 300 et 900 Hz les affaiblissements d'insertion correspondants du correcteur de distorsion du microphone ;

2. Prendre la moyenne des 3 valeurs d'efficacité (après correction) ainsi déterminées ;

3. Exprimer cette efficacité moyenne en décibels par rapport à 1 volt par barye et y ajouter algébriquement 89 décibels (somme des gains de l'amplificateur microphonique et de l'amplificateur d'émission) (l'efficacité moyenne est de l'ordre de -90 décibels par rapport à 1 volt par barye). Si cette somme est nulle, le réglage normal du gain de l'amplificateur est correct. Si cette somme est positive, on doit diminuer le gain de l'amplificateur d'une quantité égale à cette somme ; si elle est négative on doit augmenter le gain de l'amplificateur d'une quantité égale à la valeur absolue de cette somme.

On a fourni avec chaque microphone sa caractéristique « efficacité-fréquence » mesurée dans le champ acoustique libre, qui peut être utilisée pour appliquer la méthode décrite ci-dessus. Toutefois, les étalonnages périodiques du microphone fourniront une caractéristique « efficacité-fréquence » déterminée sur un coupleur clos arbitraire. On admet une variation de 1 décibel, sur la caractéristique d'efficacité déterminée sur le coupleur, avant de rejeter un microphone ; mais il faut modifier le réglage du gain de l'amplificateur d'émission si l'efficacité varie de 0,2 décibel. Bien que l'efficacité déterminée sur le coupleur ne puisse pas servir directement à calculer le réglage du gain, on peut l'utiliser pour modifier le résultat déterminé d'après l'efficacité dans le champ acoustique libre.

Si l'on a déterminé une caractéristique efficacité-fréquence sur le coupleur en même temps que la caractéristique initiale dans le champ acoustique libre, toute variation d'efficacité au cours de la vie du microphone sera indiquée par des différences entre les caractéristiques déterminées ultérieurement sur le coupleur et les caractéristiques initiales. Si l'on prend la moyenne des efficacités à 100, 300 et 900 Hz, d'une part pour la caractéristique initiale sur le coupleur et d'autre part pour chaque caractéristique déterminée ultérieurement sur ce coupleur, on peut ainsi déterminer la valeur de toute variation de la sensibilité moyenne.

On doit alors utiliser cette valeur pour corriger le réglage primitif du gain, calculé d'après la caractéristique dans le champ acoustique libre (une diminution d'efficacité exigeant une augmentation du gain et vice-versa). Cette méthode suppose qu'à toute variation de l'efficacité dans le champ acoustique libre correspond une variation semblable de l'efficacité mesurée sur le coupleur ; cette hypothèse est justifiée pour les petites variations que l'on considère ici.

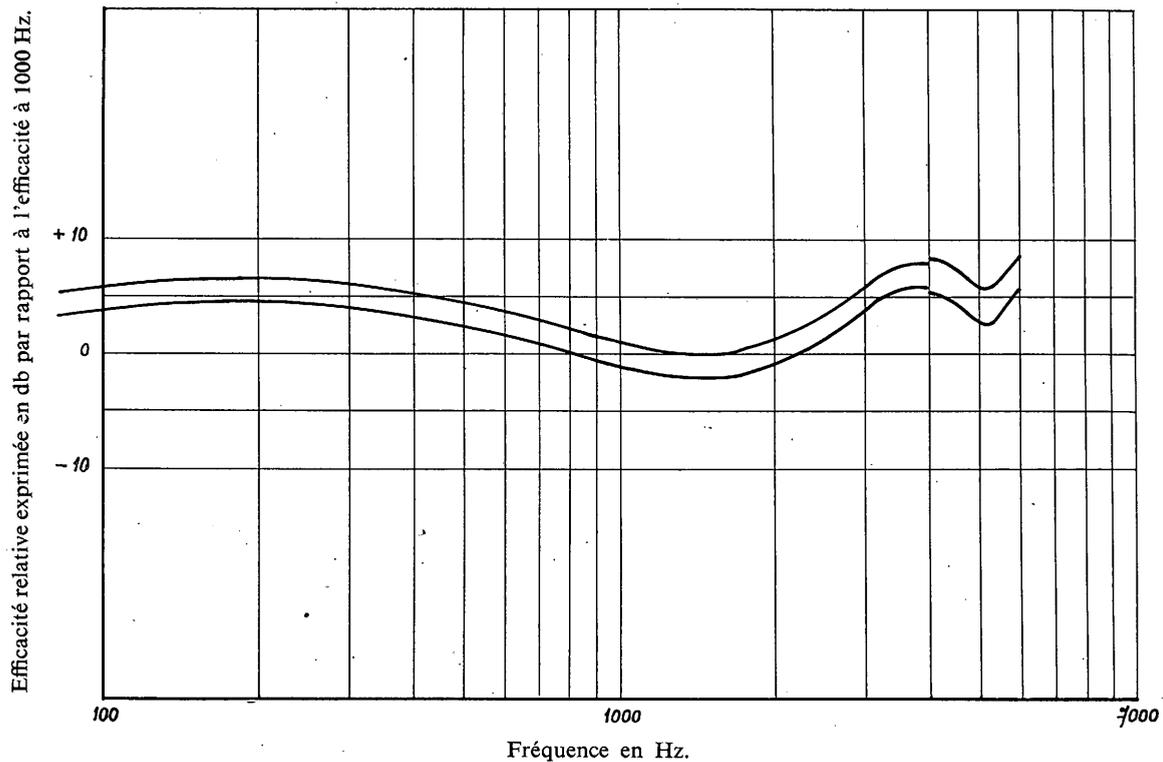


FIGURE 9. — Courbes donnant les limites entre lesquelles doit être comprise l'« efficacité-fréquence » des récepteurs de l'A.R.A.E.N. mesurée dans les conditions décrites dans la section 5. — Récepteurs n° 4076 A

7. Réglage du gain de l'amplificateur de réception de l'A.R.A.E.N.

Le système récepteur de l'A.R.A.E.N. est terminé par quatre récepteurs du même type (Standard Telephone and Cable, Type 4026 A) reliés en série. On doit maintenir leurs caractéristiques « efficacité relative-fréquence » et leur sensibilité absolue entre des limites rapprochées. En outre, le *gain de l'amplificateur de réception est réglé à une valeur fixe de 23 db*. L'affaiblissement total de la partie électrique du système récepteur de l'A.R.A.E.N. comprise entre les bornes d'entrée du correcteur de distorsion d'affaiblissement des récepteurs et les bornes d'un seul récepteur est de 19,5 db à 1000 Hz en tenant compte de l'affaiblissement supplémentaire de 12 db dû à la division par 4 de la tension à la sortie de l'adaptateur des impédances des récepteurs (les quatre récepteurs étant en série).

Les caractéristiques « efficacité-fréquence » des quatre récepteurs doivent rester dans des limites fixées (voir la figure 9) ; dans le cas contraire, les récepteurs qui sont hors de ces limites sont retournés au Service de l'Administration britannique.

Si les caractéristiques « efficacité-fréquence » des 4 récepteurs se trouvent dans les limites fixées, on ne considère qu'un seul récepteur et on détermine la moyenne de ses efficacités aux fréquences 100, 300, 1000 et 2000 Hz. Cette valeur moyenne doit être égale à +43,7 db par rapport à une barbe par volt. Afin d'obtenir cette valeur et que tous les récepteurs aient la même efficacité, des affaiblissements spéciaux variables par échelon de 0,25 db sont adaptés sur chaque récepteur.

8. Réglage normal de l'A.R.A.E.N.

L'efficacité théorique de l'A.R.A.E.N. est définie dans le tome IV du *Livre Vert*, 3^{me} partie, § 3.1.3.B5.

Le Laboratoire du C.C.I.F. tient compte, lors du réglage du gain de l'amplificateur du système émetteur des différences entre les caractéristiques « efficacité-fréquence » individuelles des microphones. Ces différences sont déterminées d'après les résultats des mesures d'étalonnage effectuées périodiquement.

BIBLIOGRAPHIE

- W. KONIG. — *Annalen der Physik*, volume 43, page 43 (1891).
E. J. BARNES et W. WEST. — *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, volume 65, page 871 (1927).
R. A. SCOTT. — *Proceedings of the Royal Society A*, volume 183, page 296 (1945).
W. WEST. — *Proceedings of the Physical Society B*, volume 62, page 437 (1949).

ANNEXE 6

MÉTHODE NORMALISÉE AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE POUR L'ÉTALONNAGE DES RÉCEPTEURS TÉLÉPHONIQUES SUR UN COUPLEUR

(Extraits de la norme Z.24.9.1949 de l'American Standards Association)

1. But et domaine d'application de la norme

1.1 Le but de la présente norme est de décrire une méthode pratique et reproductible pour évaluer les caractéristiques de fonctionnement d'un récepteur téléphonique au moyen de mesures objectives sur ce récepteur associé à une cavité terminale normalisée appelée « coupleur ».

1.2 Cette méthode convient pour vérifier les caractéristiques dans la bande de fréquences la plus intéressante pour la transmission de la parole, à savoir 300 à 5000 Hz. Les limitations de cette méthode sont discutées aux § 3.2.1 ci-après (coupleur du type 1).

1.3 La présente norme donne la spécification d'un certain nombre de coupleurs dont chacun convient à un certain type de récepteur. Aucun de ces coupleurs ne convient à tous les divers types. On s'attend à ce que les laboratoires choisissent le coupleur le plus approprié pour chaque appareil téléphonique particulier afin que leurs résultats soient comparables à ceux qui sont obtenus pour d'autres appareils du même type général mais de fabrication différente.

1.4 Le choix du microphone sensible à la pression à utiliser pour mesurer la pression acoustique dans le coupleur dépend de la valeur de la pression acoustique, de la bande de fréquence à couvrir dans les mesures et de l'impédance acoustique du diaphragme. Les microphones sensibles à la pression convenant à cet usage sont décrits dans la norme américaine Z.24.8.1949. Les recherches fondamentales qui ont conduit à l'établissement des coupleurs décrits dans la présente norme ont été effectuées avec le microphone du type L conforme à cette norme. L'emploi d'autres microphones-étalons pourrait conduire à des différences sur les résultats mesurés et quand on désire comparer les résultats entre eux on doit déterminer ces différences pour un récepteur de type particulier. La méthode à suivre pour l'étalonnage des microphones est décrite dans la norme américaine Z.24.4.1949.

1.5 Des dessins et des méthodes de mesure, ainsi que d'autres renseignements présentant un intérêt, figurent dans cette norme pour aider les techniciens chargés d'établir les montages de mesures.

2. Définitions

2.1 SYMBOLES LITTÉRAUX

Pour plus de commodité les symboles littéraux utilisés dans le texte et les figures de cette spécification sont indiqués ci-après. Les symboles des tensions, des courants et des pressions représentent des valeurs efficaces absolues. Toutes les unités électriques appartiennent au système d'unités absolues.

e_a	affaiblissement $\left(20 \log_{10} \frac{E}{E_1}\right)$
D_n	distorsion harmonique $\left(20 \log_{10} \frac{p_{nf}}{p_f}\right)$
E	force électromotrice du générateur
E_1	tension aux bornes de R_2
E_r	tension aux bornes du récepteur
I_r	courant traversant le récepteur
E_m	tension à circuit ouvert engendrée par le microphone
P	puissance disponible en watts
L_p	niveau de pression acoustique au récepteur en décibels
e_p	réponse en puissance avec un générateur résistif
p	pression acoustique dans le coupleur mesurée par le microphone
p_f	pression acoustique dans le coupleur de la fréquence fondamentale
p_{nf}	pression acoustique dans le coupleur du n^{me} harmonique de p_f
R_o	résistance du générateur ou bien résistance préférable pour le générateur
$R_1 R_2 R_3$	résistances dans le circuit de mesure
e_v	réponse en tension
Z_r	impédance du récepteur ($Z_r = R_r + jX_r$)
r_m	réponse en pression du microphone-étalon

2.2 et 2.3 (Ces paragraphes concernent des types de transducteurs électro-acoustiques autres que des récepteurs téléphoniques).

2.4 COMBINÉ

Un combiné comprend un récepteur et un microphone montés sur une pièce commune qui est normalement tenue à la main en cours d'emploi.

2.5 GRANDEUR ÉLECTRIQUE APPLIQUÉE

Dans cette norme la grandeur électrique appliquée à un récepteur est la tension aux bornes du récepteur ou la puissance disponible au générateur auquel le récepteur est relié.

2.6 PUISSANCE DISPONIBLE CONSTANTE

Un générateur à puissance disponible constante a une impédance interne purement résistive et une tension à circuit ouvert indépendante de la fréquence. Un récepteur est mesuré à puissance disponible constante s'il est relié à un tel générateur avec ou sans une résistance pure en série entre le générateur et le récepteur.

Remarque. — En pratique le circuit de sortie de l'amplificateur, de l'oscillateur ou de la ligne de transmission qui applique une puissance électrique à un récepteur peut d'habitude être représenté par un générateur équivalent dont l'impédance interne est essentiellement résistive et est indépendante de la fréquence. Par suite, une méthode de mesure utilisant la notion de puissance disponible constante pour le récepteur est d'une importance fondamentale pour fournir les données qui indiquent le fonctionnement du récepteur.

La figure 1 *a* représente un générateur dont la capacité en puissance correspond à une tension à circuit ouvert E et à une résistance interne R_0 , toutes deux indépendantes de la fréquence. La puissance disponible est

$$\frac{E^2}{4R_0}$$

Quand l'impédance de charge est une résistance égale à R_0 , les impédances sont adaptées et la puissance disponible maximum

$$\frac{E^2}{4R_0}$$

est dissipée dans cette impédance de charge.

Un récepteur mesuré est relié comme il est indiqué par la figure 1 *b*.

Quand on ne dispose pas d'un générateur avec une force électromotrice constante et une résistance interne constante, on peut obtenir des conditions appropriées à ce type de mesure avec un générateur dont la tension est maintenue à une valeur constante en E aux bornes de l'ensemble de ce générateur en série avec une résistance R_0 .

2.7 COUPLEUR

C'est une cavité de forme prédéterminée qui est utilisée pour la mesure des récepteurs. Il est muni d'un microphone pour la mesure de la pression développée dans la cavité.

2.8 PRESSION DE SORTIE

Dans cette spécification il s'agit de la pression acoustique engendrée dans un coupleur.

Remarque. — Bien qu'il soit désirable d'exprimer aussi la grandeur acoustique de sortie sous forme de la puissance acoustique appliquée à l'oreille, dans l'état actuel de la technique les constantes de l'oreille ne sont pas assez bien connues pour permettre une telle expression.

2.9 RÉSISTANCE PRÉFÉRABLE POUR LE GÉNÉRATEUR

C'est la résistance du générateur (R_0 sur la figure 1) spécifiée par le constructeur pour l'étalonnage d'un récepteur.

Remarque. — Normalement cette résistance est un compromis entre une condition où la puissance maximum est délivrée par le générateur et une condition où l'on obtient la caractéristique la plus uniforme en fonction de la fréquence.

2.10 RÉPONSE EN PUISSANCE DISPONIBLE (Available Power Response)

Elle est définie à une fréquence donnée comme 10 fois le logarithme de base 10 du rapport du carré de la pression acoustique efficace produite par un récepteur dans un coupleur approprié à la puissance électrique disponible au générateur.

Elle s'exprime en décibels par rapport à $(1 \text{ barye})^2$ par watt de puissance disponible. Elle est donnée par l'équation

$$e_p = 10 \log_{10} p^2 - 10 \log_{10} \frac{E^2}{4R_0} \quad (1)$$

2.11 RÉPONSE EN TENSION (Applied Voltage response)

Elle est définie à une fréquence donnée pour un récepteur placé sur un coupleur comme 20 fois le logarithme de base 10 de la valeur absolue du rapport de la pression acoustique efficace engendrée à la tension efficace appliquée aux bornes du récepteur. Elle s'exprime en décibels par rapport à 1 barye par volt. Elle est donnée par l'équation suivante :

$$e_v = 20 \log_{10} \frac{p}{E_r} \quad (2)$$

Remarque. — La réponse en tension est utile dans les applications où l'on mesure un certain nombre d'éléments d'un système de transmission, individuellement ou en groupe, pour obtenir la réponse totale d'un système et de ses parties, y compris le récepteur téléphonique. Une courbe donnant l'impédance du récepteur en fonction de la fréquence devrait accompagner la courbe donnant la réponse en tension en fonction de la fréquence afin de spécifier complètement le comportement du récepteur en fonction de la fréquence. Il existe entre la réponse en tension et la réponse en puissance la relation suivante :

$$e_p = e_v + 10 \log_{10} 4R_0 - 10 \log_{10} \left| 1 + \frac{R_0}{Z_r} \right|^2 \quad (3)$$

2.12 NIVEAU D'INTENSITÉ ACOUSTIQUE

C'est en décibels 20 fois le logarithme de base 10 du rapport de la pression acoustique du son considéré à la pression de référence. Dans cette spécification on admet que la pression de référence est de : 2×10^{-4} baryes. Le niveau d'intensité acoustique peut s'exprimer en décibels par l'équation suivante :

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{0,0002} = 74,0 + 20 (\log_{10} p) \text{ db} \quad (4)$$

2.13 IMPÉDANCE ÉLECTRIQUE

L'impédance électrique à une fréquence donnée d'un récepteur terminé sur un coupleur est le rapport de la tension au courant mesurés aux bornes d'entrée. C'est un nombre complexe qui s'exprime de préférence par son module et son argument.

2.14 - CARACTÉRISTIQUES EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE

Les diverses caractéristiques en fonction de la fréquence d'un récepteur expriment ses propriétés électriques, mécaniques et acoustiques en fonction de la fréquence. La caractéristique de réponse en puissance en fonction de la fréquence en est un exemple.

2.15 CARACTÉRISTIQUES DE TRANSFERT

A une fréquence donnée elles représentent le carré de la valeur absolue de la pression acoustique efficace produite dans le coupleur en fonction de la puissance disponible à l'entrée du récepteur. La puissance à l'entrée est spécifiée en décibels par rapport à 1 watt et la pression en décibels par le niveau d'intensité acoustique.

2.16 DISTORSION HARMONIQUE D'ORDRE n

C'est 20 fois le logarithme de base 10 du rapport de la pression acoustique efficace absolue de l'harmonique considéré à la pression acoustique efficace absolue du fondamental. Le signal appliqué à l'entrée est sinusoïdal et peut être spécifié comme puissance disponible ou comme tension appliquée.

La distorsion harmonique d'ordre n est donnée en décibels par l'expression :

$$D_n = 20 \log_{10} \frac{P_{nf}}{P_f} \quad (5)$$

3. Appareillage de mesure

3.1 GÉNÉRALITÉS

L'équipement de mesure nécessaire pour mesurer les caractéristiques du récepteur par la méthode du coupleur est le suivant :

- a) un coupleur pour coupler le récepteur mesuré à un microphone étalon,
- b) un microphone-étalon sensible à la pression,
- c) les appareils électriques appropriés pour mesurer la grandeur électrique à la sortie, l'impédance électrique et la distorsion,
- d) un oscillateur à fréquence réglable.

Cette spécification s'applique essentiellement au coupleur. Des microphones-étalons appropriés sont décrits dans la norme américain Z.24.8.1949 ou toute édition ultérieure. Les appareils électriques employés sont bien connus et l'on n'en donnera pas de spécification détaillée.

3.2 COUPLEURS

On décrit, dans cette norme, 3 types de coupleurs. Le premier convient pour déterminer la réponse de récepteurs qui sont appliqués contre le pavillon de l'oreille. La matière à employer dans la construction de ces coupleurs devrait être une substance non magnétique telle que le laiton ou l'ébonite. De cette façon l'impédance de la paroi est très grande comparée à l'impédance du volume.

3.2.1 *Coupleur du type 1.* — La figure 2 indique les dimensions générales du volume du coupleur pour la mesure des caractéristiques de récepteurs qui sont appliqués étroitement sur le pavillon de l'oreille.

La construction externe du coupleur doit être adaptée au récepteur particulier essayé. La figure 3 représente un coupleur convenable pour un récepteur typique ayant un pavillon dur. Dans ce cas, les parois inclinées de la cavité font réellement partie du pavillon (l'oreille artificielle de référence du C.C.I.F. est de ce type).

3.2.2 et 3.2.3 (Ces paragraphes décrivent des coupleurs des types 2 et 3 qui ne sont pas utilisés avec des récepteurs téléphoniques).

4. Méthode de mesure

4.1 GÉNÉRALITÉS

Les méthodes de mesure et les montages décrits dans cette spécification conviennent pour mesurer les caractéristiques suivantes des récepteurs :

- a) Réponse en puissance.
- b) Réponse en tension.
- c) Caractéristique de transfert.
- d) Impédance électrique.
- e) Distorsion harmonique d'ordre n .

Les constantes des éléments de montage ont été choisies pour permettre l'étalonnage de récepteurs ayant des impédances de 1 à 25 000 ohms. Pour des récepteurs à haute impédance, on devrait apporter des modifications appropriées à ces constantes. Quand on mesure, sur des récepteurs, les caractéristiques énumérées ci-dessus on doit faire attention de choisir des appareils qui soient linéaires dans tout l'intervalle des variations des tensions et des pressions que l'on rencontre.

Remarque. — On peut déterminer n'importe laquelle des caractéristiques d'un récepteur en fonction de la fréquence en mesurant ces caractéristiques à un nombre suffisant de fréquences pour tracer une courbe continue ou une famille de courbes, par exemple la caractéristique de réponse en puissance en fonction de la fréquence.

4.2 RÉPONSE EN PUISSANCE

On peut utiliser les appareils et les éléments de circuit suivants, comme il est indiqué dans la figure 7, pour mesurer la réponse en puissance :

- a) Un oscillateur à fréquence réglable. — Pour la plupart des applications il suffit qu'aux fréquences de mesure la proportion d'harmoniques soit inférieure à 1 % de la tension totale à la sortie. Il est désirable que l'impédance de l'oscillateur, y compris toute résistance en série, ne soit pas inférieure à 50 ohms.
- b) Un affaiblisseur réglable étalonné avec un intervalle de variation d'environ 60 db. — La plus petite division doit être 0,1 db. Si ce n'est pas le cas l'indicateur de tension de sortie indiqué sous 4.2 d) doit avoir des gra-

duations de 0,1 db. Afin de réduire la difficulté d'obtenir une tension assez élevée aux bornes de R_1 , on doit éviter d'employer des affaiblisseurs à faible impédance. En général les affaiblisseurs ayant des impédances de 150 à 600 ohms sont convenables. Si nécessaire, on peut augmenter l'impédance de tels affaiblisseurs en ajoutant une résistance en série.

- c) Un microphone-étalon sensible à la pression (norme Z.24.8.1949) et l'amplificateur microphonique qui lui est associé.
- d) Un amplificateur muni d'un indicateur gradué pour mesurer la tension alternative efficace de sortie et également muni d'un affaiblisseur ayant un intervalle de variation de 40 db.
- e) Un voltmètre à courant alternatif convenable. Par une commutation appropriée l'équipement indiqué sous d) peut être utilisé à cette fonction.
- f) Un coupleur approprié.
- g) Une résistance réglable étalonnée R_3 , avec un intervalle de variation de 1 ohm à environ 25 000 ohms.
- h) 2 résistances R_1 et R_2 .

Remarque. — Afin de simplifier la méthode de mesure, et afin que la formule donnant la réponse en puissance du récepteur soit une fonction simple de R_0 , r_m , et e_a , la valeur de R_1 est soumise à des restrictions, telle que l'erreur sur la formule donnant e_p au § 4.2.1.2 ne dépasse pas 0,1 db. Sur cette base on doit choisir la valeur de R_1 pour satisfaire aux conditions suivantes :

- 1) être égale ou inférieure à 0,01 fois l'impédance d'entrée de l'affaiblisseur. Ainsi on sera sûr que la tension aux bornes d'entrée de l'affaiblisseur est égale à la force électromotrice E aux bornes du générateur à moins de 1 % près.
- 2) être égale ou inférieure à 0,01 fois la valeur absolue de l'impédance de sortie de l'oscillateur y compris toute résistance placée en série. Ainsi on sera sûr que la réactance de l'oscillateur ne modifiera pas de plus de 0,25 % le courant traversant le récepteur mesuré.
- 3) être égale ou inférieure à la résistance préférable R_0 du générateur, pour le récepteur mesuré.

La valeur de R_2 doit être telle qu'elle termine convenablement l'affaiblisseur et doit être placée dans la partie à faible résistance du circuit microphonique. Pour des raisons de commodité, la résistance globale de R_2 et de l'affaiblisseur en parallèle doit être négligeable devant la somme de l'impédance du microphone et de l'impédance d'entrée de l'amplificateur microphonique.

Pour améliorer la caractéristique en fonction de la fréquence ou la forme d'onde de l'oscillateur, on peut ajouter une résistance appropriée (non représentée) beaucoup plus grande que R_1 directement en série avec l'oscillateur pour lui présenter une résistance de charge appropriée mais le voltmètre à courant alternatif est toujours branché directement aux bornes de R_1 .

Puisque les diverses caractéristiques d'un récepteur ne sont pas exactement les mêmes à tous les niveaux, la pression à laquelle on les mesure devrait être définie et typique de ses conditions d'emploi. Pour les récepteurs d'emploi général

le niveau normal de mesure doit être de 20 baryes. La réponse en pression r_m du microphone étant donnée sous forme de valeurs absolues de la tension efficace à circuit ouvert E_m et de la pression efficace p appliquée au diaphragme, la tension E_m produite par le microphone au niveau normal doit se calculer d'après l'équation

$$20 \log_{10} E_m = r_m + 26 \text{ db au-dessus de 1 volt} \quad (6)$$

4.2.1. *Méthode de détermination de la réponse en puissance.* — Avant de procéder comme il est indiqué ci-après, il est recommandable de vérifier l'étalonnage des divers affaiblisseurs employés, en fonction de la fréquence et de la tension appliquée.

4.2.1.1 *Opération 1.* — Régler la fréquence de l'oscillateur à 1000 Hz, placer le commutateur S dans la position A et régler les niveaux de sortie de l'oscillateur et le réglage de l'affaiblisseur pour obtenir aux bornes de R_2 une tension E_1 égale à la tension E_m calculée d'après l'équation 6. Observer l'indication de la tension de sortie.

Opération 2. — Régler R_3 de telle sorte que la somme de R_3 et de la composante résistive de R_1 avec l'impédance de sortie de l'oscillateur en parallèle soit égale à R_0 . Puis, le commutateur S étant dans la position B, régler le niveau de sortie de l'oscillateur pour obtenir la même lecture sur l'indicateur que dans l'opération 1 ci-dessus. Ceci produit à 1000 Hz une pression acoustique de 20 baryes due au récepteur dans le coupleur.

Remarque. — Quand on ne connaît pas la résistance préférable R_0 du générateur, il peut être nécessaire de déterminer la caractéristique de réponse en puissance en fonction de la fréquence pour un nombre suffisant de valeurs de R_3 pour déterminer une valeur préférable.

Opération 3. — Sans toucher à l'oscillateur et le commutateur S étant dans la position C, noter la tension aux bornes de R_1 qui sera la tension E du générateur. Dans la procédure qui suit, on maintient cette tension constante en fonction de la fréquence et par conséquent la puissance disponible

$$\frac{E^2}{4R_0}$$

reste aussi constante. On règle alors l'équipement pour déterminer la réponse en puissance à n'importe quelle fréquence.

Remarque. — Si la résistance préférable R_0 du générateur est telle que R_3 soit au moins 100 fois plus grande que R_1 , on peut alors utiliser R_3 au lieu de R_0 pour calculer la puissance disponible.

Opération 4. — Régler l'oscillateur à la fréquence désirée. Placer le commutateur S dans la position C et régler le niveau de sortie de l'oscillateur pour donner la même tension E que dans l'opération 3.

Opération 5. — Sans toucher à l'oscillateur, placer le commutateur S dans la position B et observer la lecture de l'indicateur de tension de sortie.

Opération 6. — Sans toucher à l'oscillateur, placer le commutateur S dans la position A et régler l'affaiblisseur pour obtenir la même lecture sur l'indicateur que dans l'opération 5. Ceci donne la valeur de

$$e_a = 20 \log_{10} \frac{E}{E_1} \quad (7)$$

4.2.1.2 *Calculs.* — On a maintenant obtenu tous les renseignements nécessaires pour calculer la réponse en puissance à la fréquence réglée dans l'opération 4. Puisque la réponse en puissance est donnée par l'équation 1, et puisque l'on a, d'après l'étalonnage du microphone,

$$p = E_1 10^{-\frac{r_m}{20}}$$

et d'après la graduation de l'affaiblisseur

$$E = E_1 10^{\frac{e_a}{20}}$$

La réponse en puissance est donnée par

$$e_p = 10 \log_{10} 4R_0 - r_m - e_a \quad (8)$$

Pour obtenir la réponse en puissance à d'autres fréquences, on répète pour chacune des fréquences désirées les opérations 4 et suivantes.

4.3 RÉPONSE EN TENSION

On peut appliquer les mêmes appareils et le même montage décrits au § 4.2 sauf que la résistance réglable R_3 est court-circuitée.

4.3.1 *Méthode de détermination de la réponse en tension*

4.3.1.1 *Etape 1.* — Identique à l'étape 1 de 4.2.1.1.

Etape 2. — Placer le commutateur S dans la position B, régler le niveau de sortie de l'oscillateur pour obtenir, sur l'indicateur, la même lecture que dans l'opération 1. Ceci produit à 1000 Hz une pression acoustique de 20 baryes due au récepteur dans le coupleur. Noter la tension E_r aux bornes de R_1 et par suite aux bornes du récepteur. Cette tension est maintenue constante quand la fréquence varie.

Etape 3. — Régler l'oscillateur à la fréquence désirée. Laisser le commutateur S dans la position B et régler le niveau de sortie de l'oscillateur pour obtenir la même tension aux bornes de R_1 que dans l'opération 2. Noter la lecture sur l'indicateur.

Etape 4. — Placer S dans la position A et régler le niveau de sortie de l'oscillateur pour donner la même tension aux bornes de R_1 que dans l'opération 3.

Régler l'affaiblisseur pour obtenir la même lecture sur l'indicateur que dans l'opération 3. Ceci donne la graduation de l'affaiblisseur.

$$e_a = 20 \log_{10} \frac{E_r}{E_1} \quad (9)$$

4.3.1.2 *Calculs.* — On a maintenant obtenu tous les renseignements nécessaires pour calculer la réponse en tension à la fréquence réglée dans l'opération 3. Puisque la réponse en tension est donnée par

$$e_v = 20 \log_{10} \frac{p}{E_r}$$

et puisque

$$p = E_1 10^{-\frac{r_m}{20}}$$

et

$$E_r = E_1 10^{\frac{e_a}{20}}$$

on a pour la réponse en tension

$$e_v = -r_m - e_a$$

Pour obtenir la réponse en tension à d'autres fréquences, on répète pour chaque fréquence les opérations 3 et suivantes. On peut simplifier cette méthode si l'on peut rendre R_1 petite devant Z_r . Si R_1 est inférieure ou égale à 0,01 fois Z_r à toutes les fréquences intéressantes, la tension aux bornes de R_1 reste la même à 1 % près pour les positions A et B du commutateur, éliminant ainsi le besoin de régler la tension de sortie de l'oscillateur.

4.4 CARACTÉRISTIQUE DE TRANSFERT

A une fréquence donnée, on peut mesurer la caractéristique de transfert avec les mêmes appareils et montage de mesure que dans la figure 7.

4.4.1 *Méthode de détermination des caractéristiques de transfert*

4.4.1.1 *Opération 1.* — Régler l'oscillateur à la fréquence désirée. Le commutateur S étant dans la position C, appliquer une tension E aux bornes de R_1 et lire sa valeur sur le voltmètre à courant alternatif. La tension disponible à l'entrée P est donnée en fonction de la tension E du générateur et de la résistance préférable R_0 par

$$P = 10 \log_{10} \frac{E^2}{4R_0} \text{ db par rapport à 1 watt}$$

Opération 2. — Sans toucher à l'oscillateur et S étant dans la position B, observer la lecture de l'indicateur. Observer aussi la tension aux bornes du récepteur. Ceci donne la relation entre la tension aux bornes du récepteur et la puissance disponible à l'entrée et sert à déterminer la tension maximum admissible à appliquer au récepteur dans les mesures d'impédance.

Opération 3. — Sans toucher à l'oscillateur, S étant dans la position A, régler l'affaiblisseur pour obtenir la même lecture sur l'indicateur que dans l'opération 2. Ceci donne la valeur de

$$e_a = 20 \log_{10} \frac{E}{E_1}$$

4.4.1.2. *Calculs.* — Le niveau d'intensité acoustique se calcule de la façon suivante :

$$L_p = 74 + 20 \log_{10} p$$

puisque

$$p = E_1 10^{-\frac{r_m}{20}}$$

et

$$E_1 = E 10^{-\frac{e_a}{20}}$$

$$L_p = 20 \log E - e_a - r_m + 74 \quad (11)$$

4.4.1.3 Répéter les opérations 1, 2 et 3 dans un intervalle approprié de valeurs de la puissance disponible à l'entrée. En général on représente les renseignements obtenus en portant en abscisse le logarithme de base 10 de P et en ordonnée le niveau d'intensité acoustique. Cette courbe, outre qu'elle donne la valeur approximative de l'intensité acoustique L que le récepteur peut produire sans distorsion, est utile pour déterminer la puissance disponible et la tension maxima qui peuvent être appliquées au récepteur pour les mesures d'impédance.

4.5 IMPÉDANCE ÉLECTRIQUE

On peut utiliser pour mesurer l'impédance électrique l'appareillage suivant :

- a) un oscillateur à fréquence réglable,
- b) un pont d'impédance convenable avec un détecteur amplificateur et un détecteur,
- c) un coupleur approprié pour servir de terminaison acoustique du récepteur,
- d) un voltmètre à courant continu pour mesurer la tension aux bornes du récepteur,
- e) un microphone-étalon sensible à la pression (norme Z.24.8.1949).

4.5.1 Détermination de l'impédance électrique

4.5.1.1 *Opération 1.* — Déterminer, par inspection des diverses caractéristiques de transfert aux différentes fréquences, la tension maximum qui peut être appliquée au récepteur sans distorsion sérieuse. Le récepteur étant placé dans le bras de pont correspondant à la résistance inconnue, régler le niveau de sortie de l'oscillateur à une fréquence particulière pour produire aux bornes du récepteur une tension inférieure ou égale à la valeur déterminée ci-dessus.

Opération 2. — Mettre hors circuit le voltmètre à courant alternatif et équilibrer le pont. Cette mesure détermine la résistance et la réactance et par suite l'impédance de l'argument du récepteur à la fréquence de mesure.

Après équilibre, vérifier la tension aux bornes du récepteur pour s'assurer qu'elle a la valeur désirée.

4.6 DISTORSION HARMONIQUE D'ORDRE n

Remplacer l'amplificateur et l'indicateur de tension de sortie de la figure 7 par un analyseur harmonique comme sur la figure 8. Si la tension de sortie de l'oscillateur n'est pas suffisamment exempte de distorsion pour permettre de mesurer les harmoniques à la sortie du récepteur avec le degré de précision désiré, ajouter au montage de mesure un filtre passe-bas réglable comme il est indiqué.

4.6.1 *Détermination de la distorsion harmonique d'ordre n .* — Suivant que la distorsion est mesurée en fonction de la tension aux bornes du récepteur ou de la puissance disponible on doit suivre la méthode indiquée sous 4.6.1.1 *a* ou 4.6.1.1 *b*.

4.6.1.1 *Opération 1 a.* — Si l'on doit faire la mesure avec une tension sinusoïdale spécifiée appliquée aux bornes du récepteur, court-circuiter R_3 , régler l'oscillateur à la fréquence désirée, régler le filtre passe-bas pour laisser passer la fréquence fondamentale de l'oscillateur et pour supprimer tous les harmoniques, placer S dans la position B et régler la tension T_r à la valeur requise.

Opération 1 b. — Si l'on doit faire la mesure avec une puissance disponible P spécifiée provenant d'un générateur d'impédance spécifiée, régler R_3 comme dans l'opération 2 du § 4.2.1.1. Régler l'oscillateur à la fréquence désirée. Régler le filtre passe-bas pour laisser passer la fréquence fondamentale de l'oscillateur et pour supprimer tous les harmoniques. S étant dans la position C, régler la tension E à la valeur déterminée par l'expression suivante :

$$E = 2 \sqrt{PR_0} \quad (12)$$

Opération 2. — Sans toucher au filtre passe-bas, S étant dans la position B, régler l'analyseur harmonique sur la fréquence harmonique désirée nf ($n = 1, 2$, etc.) et noter la lecture à la sortie de l'analyseur harmonique.

Opération 3. — Sans toucher à l'analyseur harmonique, le filtre étant hors circuit et S dans la position A, régler l'oscillateur à la fréquence nf et régler l'affaiblisseur pour lire la même valeur à la sortie de l'analyseur que dans l'opération 2. Déterminer la tension E_1 aux bornes de R_2 en fonction de e_a et de la tension aux bornes de R_1 .

4.6.1.2 *Calculs.* — La pression p_{nf} à la fréquence nf est donnée par

$$p_{nf} = \left(E_1 10^{-\frac{r_m}{20}} \right)_{nf}$$

où l'indice nf indique que E_1 et r_m ont les valeurs correspondant à la fréquence nf . La pression p_f à la fréquence fondamentale ($n = 1$) est donnée par

$$p_f = \left(E_1 10^{-\frac{r_m}{20}} \right)_f$$

La distorsion harmonique d'ordre n est donc

$$D_n = (20 \log E_1 - r_m)_{nf} - (20 \log E_1 - r_m)_f \quad (13)$$

4.6.1.3 *Détermination des limites d'emploi du montage de mesure.* — La distorsion harmonique déterminée au § 4.6.1.2 est en fait la combinaison des distorsions harmoniques des récepteurs mesurés et du montage de mesure. Il est donc essentiel que la distorsion harmonique du montage de mesure soit suffisamment faible par rapport à celle du récepteur pour permettre de mesurer la distorsion du récepteur avec la précision désirée. Si l'on connaît la distorsion du montage de mesure, on peut facilement déterminer la précision limite pour la mesure d'une distorsion du récepteur de grandeur déterminée. On détermine de la façon suivante la distorsion du montage de mesure.

La fréquence de l'oscillateur, le filtre passe-bas, la tension P et la résistance R_3 , étant réglés comme pour une mesure particulière, et S dans la position B , régler l'analyseur harmonique sur la fréquence fondamentale f de l'oscillateur et observer la lecture de l'indicateur faisant partie de l'analyseur harmonique. Mettre S dans la position A et régler l'affaiblisseur pour obtenir une lecture de l'analyseur essentiellement égale à celle qui vient d'être obtenue. Puis régler l'analyseur harmonique sur chacune des fréquences nf intéressantes et observer les indications correspondantes à sa sortie. Si le gain de l'amplificateur microphonique, mesuré sous forme du rapport de l'indication à la sortie à la tension E_1 , n'est pas le même pour toutes les fréquences auxquelles on a fait des lectures, ramener ces lectures aux valeurs qui auraient été obtenues si le gain de l'amplificateur à chacune des fréquences harmoniques avait été le même qu'à la fréquence fondamentale de l'oscillateur. A partir de ces données, déterminer la distorsion harmonique du montage de mesure et les limites dans lesquelles on peut mesurer la distorsion harmonique de récepteurs.

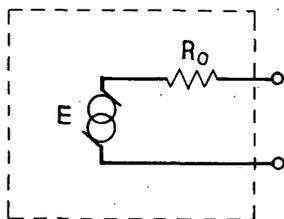


FIGURE 1a. — Générateur avec une puissance disponible $\frac{E^2}{4R_0}$

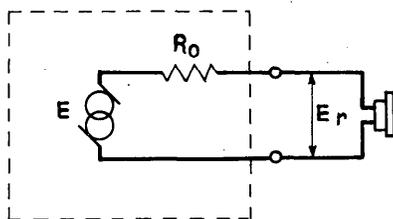


FIGURE 1b. — Montage pour l'étalonnage d'un récepteur

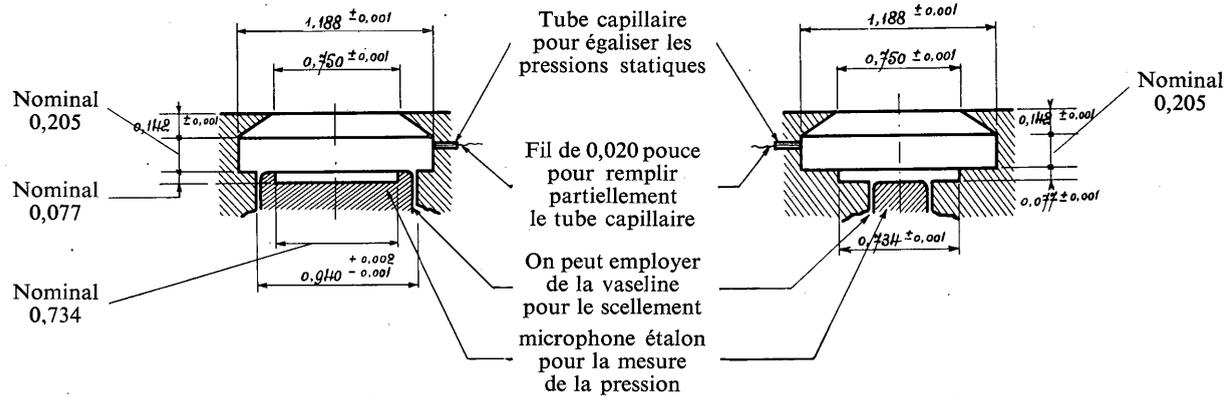
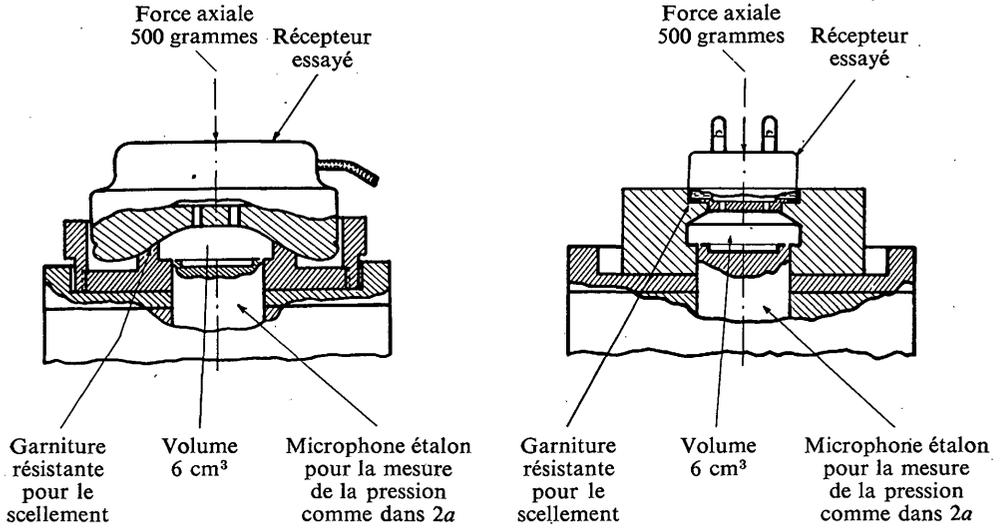


FIGURE 2a

FIGURE 2b

- Notes 1. Toutes les dimensions sont en pouces
 2. Toutes les dimensions perpendiculaires à l'axe sont des diamètres

FIGURES 2. — Coupleur du type 1 pour les récepteurs appliqués sur le pavillon de l'oreille



Note — Le tube capillaire n'est pas représenté — Voir figure 2

FIGURE 3. — Coupleur du type 1 modifié pour les récepteurs à pavillon dur

FIGURE 4. — Coupleur du type 1 modifié pour de petits récepteurs

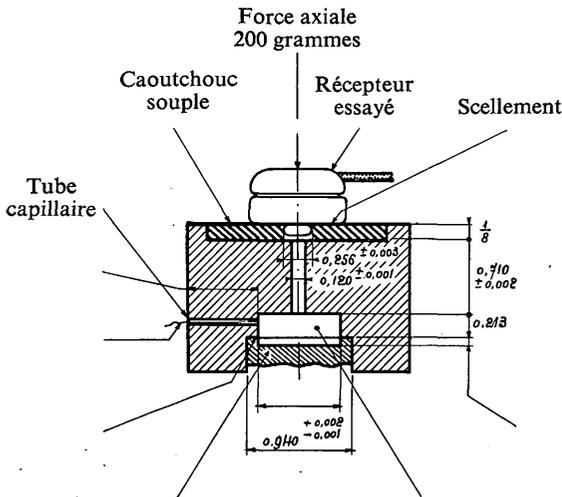


FIGURE 5. — Coupleur du type 2

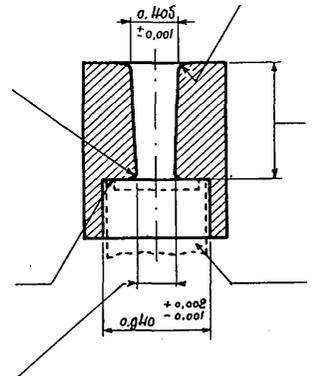


FIGURE 6. — Coupleur du type 3

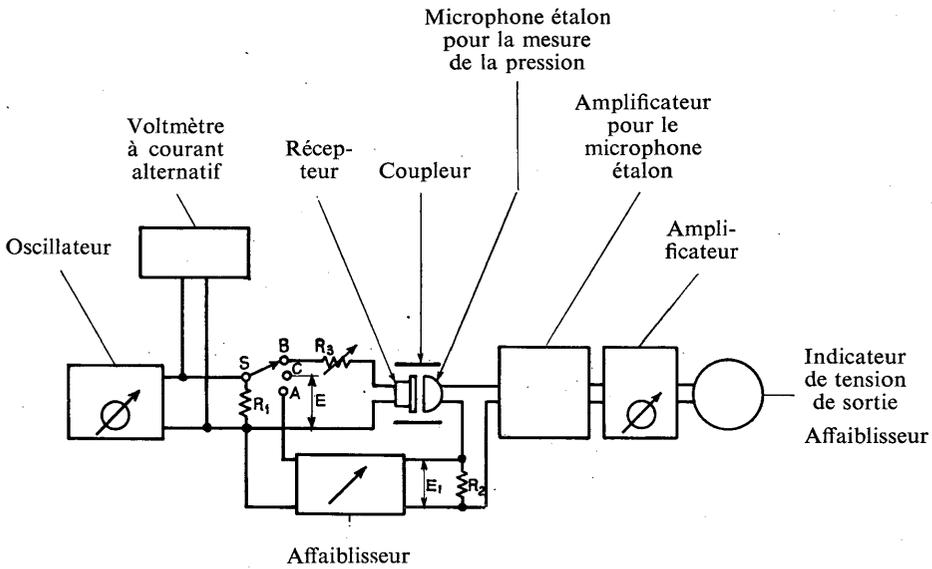


FIGURE 7. — Montage pour la mesure de la réponse en puissance, de la réponse en tension et de la caractéristique de transfert de récepteurs

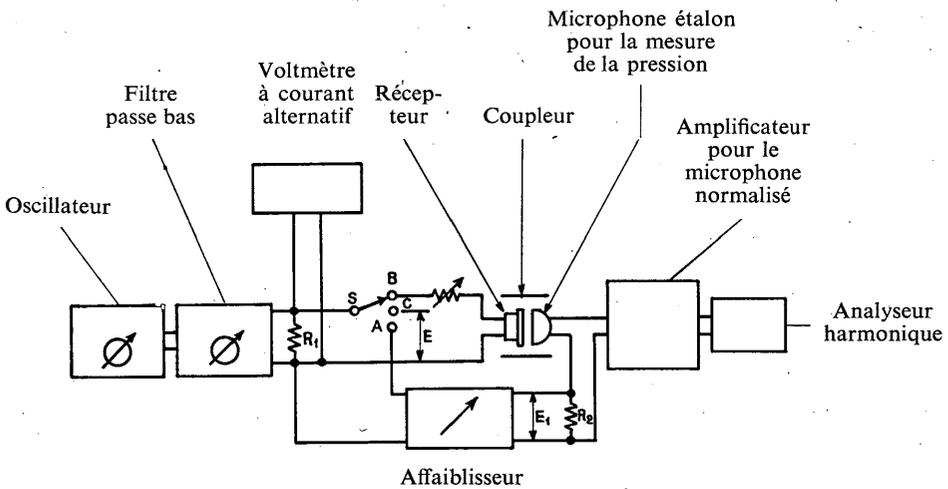


FIGURE 8. -- Montage pour la mesure de la distorsion harmonique de récepteurs

ANNEXE 7

BOUCHE, VOIX ET OREILLE ARTIFICIELLES UTILISÉES PAR L'ADMINISTRATION FRANÇAISE DES TÉLÉPHONES

Le système étudié et construit — et dont un exemplaire a été donné au Laboratoire du C.C.I.F. — par le Centre National d'Etudes des Télécommunications permet sinon la mesure absolue, du moins le contrôle de la stabilité de l'efficacité ou de l'équivalent de référence d'une liaison téléphonique, y compris les appareils terminaux d'abonné. Il tend à remplacer, par un appareillage objectif, les opérateurs téléphonistes qui devraient normalement exécuter cette mesure d'une manière subjective. Il n'a donc pas pour objet la détermination absolue de l'équivalent, quoique des essais très encourageants aient été faits dans ce sens, mais la vérification de sa constance. Il comprend quatre parties essentielles :

1. Une bouche artificielle.
2. Une voix artificielle.
3. Une oreille artificielle.
4. Un voltmètre à échelles logarithmiques.

La bouche artificielle

La bouche artificielle est un émetteur acoustique qui produit devant le microphone, dans des conditions de rayonnement correspondant à celle de la bouche humaine, au cours d'une conversation normale (d'intensité moyenne), un bruit complexe ayant la structure moyenne de la voix naturelle et appelé voix artificielle.

Le modèle réalisé au Centre d'études des télécommunications comprend un haut-parleur commercial électrodynamique à aimant permanent avec membrane de 11 cm combinée avec un réseau acoustique de canaux disposés devant elle. La cavité située entre la membrane et l'extrémité des canaux forme chambre de compression. Les canaux atténuent les résonances du haut-parleur, réduisent les effets tourbillonnaires et concentrent le champ acoustique vers la bouche artificielle. L'ouverture centrale du diaphragme est obturée par une toile vernie en forme de calotte sphérique donnant le maximum de rigidité sous un faible poids. La partie terminale et la pièce centrale qui font partie du dispositif des

canaux ont été étudiées sous le rapport du champ acoustique rayonné. Ce dispositif impose en quelque sorte sa caractéristique, ce qui rend le système plus indépendant des propriétés du haut-parleur et permet le remplacement de ce dernier.

L'amplificateur associé au haut-parleur corrige sa courbe de réponse au moyen d'une contre-réaction avec réseau complexe spécialement étudié. Les figures 1 et 2 (coupes transversales et longitudinales) donnent une vue de la tête artificielle. Les figures 3 et 4 démontrent la variation des champs acoustiques suivant l'axe de la bouche naturelle (trait plein) et de la bouche artificielle (pointillé), ainsi que leurs distributions autour de la tête (dans les cas de l'alimentation par la voix artificielle). De très bons résultats ont été obtenus pour les mesures téléphonométriques par comparaison avec les valeurs moyennes recueillies par un certain nombre d'opérateurs.

La voix artificielle

Cet appareil se compose essentiellement d'une source de courant à spectre continu et uniforme, formée par un tube au néon travaillant dans une zone d'équilibre instable ; celui-ci est polarisé par une tension continue, à travers une résistance et une capacité dont le rôle est de favoriser les oscillations de basse fréquence. Cet effet est complété par un dispositif filtrant simple résultant de la polarisation du tube et du réseau des liaisons avec le premier étage d'amplification associé au tube. Il est d'ailleurs possible d'agir sur la forme générale du spectre et d'obtenir à volonté, par l'action d'une clef, un timbre général de voix mixte (masculine et féminine), ou un spectre uniforme (bruit blanc). La figure n° 5 donne le schéma général de l'appareil. Les courbes publiées par Fletcher ont pu être ainsi matérialisées (figure n° 6). Un amplificateur permet d'obtenir une puissance de sortie de 6 mW dans 600 ohms. Des mesures téléphonométriques, exécutées avec cette source de courant sur des écouteurs téléphoniques ayant des efficacités variant de 2,3 db Meilleur à 23,1 db Pire que l'étalon, et les courbes de réponse les plus diverses, ont donné des résultats concordant avec ceux des mesures téléphonométriques normales. Les écarts individuels entre les deux séries de mesures sont au maximum de 1,6 db, ce qui est au plus égal aux écarts téléphonométriques habituels.

Pour rendre l'analogie de la voix artificielle avec la voix naturelle plus complète, on a adjoint au dispositif, qui donne en quelque sorte les sons continus de voyelles, une modulation par relaxation correspondant aux consonnes. On la réalise au moyen d'un thyatron dont le courant passe dans le primaire d'un transformateur. La tension produite par induction aux bornes du secondaire polarise la grille d'une lampe amplificatrice du bruit produit par le tube au néon. Cette modulation a un rythme réglable, mais que l'on fixe de préférence à 4 par seconde, qui est voisin du rythme d'énonciation moyenne des consonnes (voix très lente — rythme d'orateur — 2 par seconde, voix très rapide — 8 par seconde). Dans le cas des mesures de microphones, la voix artificielle est utilisée en liaison avec une bouche artificielle. Il est prévu de lui adjoindre un interrupteur automatique donnant des coupures d'une durée de 2 secondes toutes les 6 et 7 secondes, de manière à simuler les durées normales de reprises de respiration et d'émission vocale continue (variable entre des limites voisines de 3 à 13 secondes).

L'oreille artificielle

L'oreille artificielle est un ensemble d'impédances acoustiques, telles qu'un écouteur téléphonique placé contre sa surface extérieure (formant pavillon de l'oreille) rayonne de la même manière que s'il était appliqué contre une oreille naturelle moyenne. Dans le cas de l'oreille réalisée par le laboratoire d'acoustique du C.N.E.T., on a procédé à des comparaisons directes entre un assez grand nombre d'oreilles naturelles (44) et le système représentant l'oreille artificielle au moyen de plusieurs écouteurs dans le plan de base desquels était axialement disposé un très petit microphone piézoélectrique. Le réseau d'impédance de l'oreille a été réglé de manière que les caractéristiques combinées de ces écouteurs et du petit microphone associé soient pratiquement identiques quand l'écouteur était appliqué près de l'oreille naturelle moyenne et contre l'oreille artificielle. La figure 7 donne la coupe et le plan du dispositif ainsi réalisé.

L'impédance du conduit auditif est représenté par le volume compris dans la partie cylindrique du coupleur (1,2 cm³) ; un pavillon de cuir forme en outre avec la partie supérieure du coupleur un volume de 2 cm³.

Des fuites nécessaires aux fréquences basses sont assurées par un canal de diamètre 0,5 mm et de longueur 1 cm. La concordance des résultats obtenus avec l'oreille artificielle et avec les oreilles naturelles est montrée par la figure 8 qui reproduit les courbes d'efficacité moyennes et extrêmes d'un récepteur, relatives aux 44 oreilles et à l'oreille artificielle.

Le tympan de l'oreille est formé par le diaphragme d'un microphone électrostatique. L'ensemble est de révolution autour de l'axe de symétrie de la figure. Pour l'étalonnage, le récepteur vient reposer sur le pavillon de cuir. Une concordance très satisfaisante a été obtenue au cours des comparaisons téléphonométriques entre les sons captés par cette oreille, successivement associée à des récepteurs différents, et les sons captés par l'oreille d'un opérateur moyen attaqué par un récepteur relié au microphone à condensateur, de manière à faire intervenir l'appréciation neuro-subjective d'intensité du cerveau. Pour remplacer cette dernière, on ne dispose pas encore d'un appareillage suffisamment fidèle ; en son absence on lui a adjoint un voltmètre amplificateur à échelle logarithmique ; il se compose d'un amplificateur linéaire stabilisé suivi d'un appareil de lecture spécial dont le profil des masses polaires a été étudié en vue d'obtenir une déviation de l'aiguille proportionnelle au logarithme du courant mesuré. Il permet une lecture directe dans une marge de 30 db. En outre, une ligne d'affaiblissement incorporée à l'amplificateur permet une variation continue de son gain de 50 db.

Les trois éléments dont le principe a déjà été décrit antérieurement ont schématiquement les propriétés et les caractéristiques ci-après. Les schémas se rapportant aux réalisations pratiques figurent aux pages 86-92.

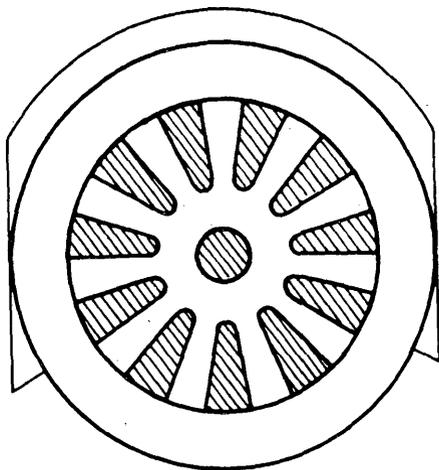
Remarque. — Outre la bouche, la voix et l'oreille artificielles précédentes, l'Administration française des téléphones dispose de divers appareils analogues, construits industriellement, parmi lesquels on peut citer :

1. Une voix artificielle présentant les mêmes caractéristiques essentielles que la voix décrite ci-dessus, mais permettant d'obtenir également d'autres spectres, utiles dans les mesures électro-acoustiques ou électriques.

2. Un ensemble comprenant, une bouche, une voix et une oreille artificielles, ainsi qu'un voltmètre de mesure, considérablement simplifiés et allégés par rapport aux appareils précédemment décrits. Cet équipement portable n'exige pas de source d'alimentation extérieure ; il sert, notamment, à effectuer la maintenance des postes téléphoniques au domicile des abonnés.

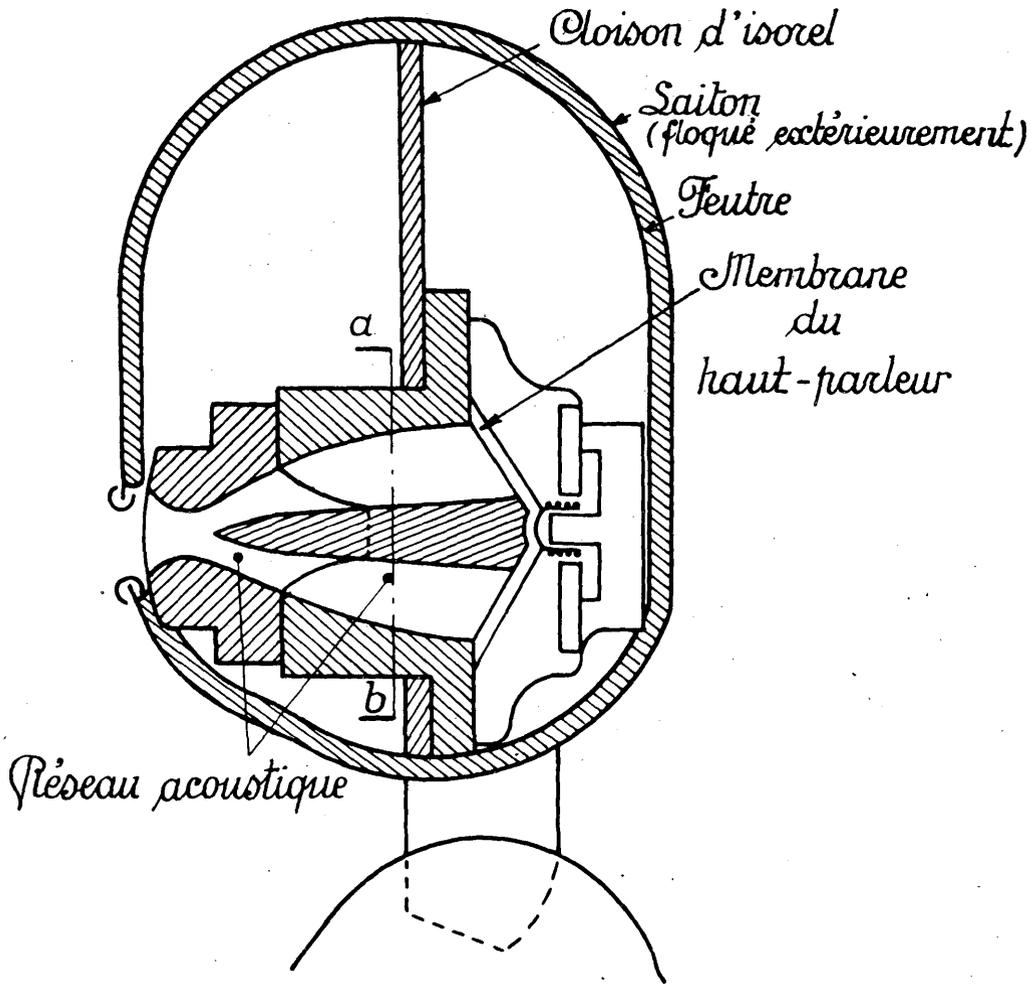
BIBLIOGRAPHIE

- [1] P. CHAVASSE. — Une bouche artificielle pour les essais acoustiques, *Comptes rendus Acad. des Sciences*, t. 280, p. 436-438 (1950).
- [2] P. CHAVASSE. — Une voix artificielle pour les essais téléphonométriques. *Comptes rendus Acad. des Sciences*, t. 224, p. 1622 (1947).
- [3] Brevet R. FROMENTIN n° 555.131.
- [4] P. CHAVASSE. — L'oreille artificielle du C.N.E.T., *Comptes rendus Acad. des Sciences*, t. 230, p. 1390-1392 (1950).



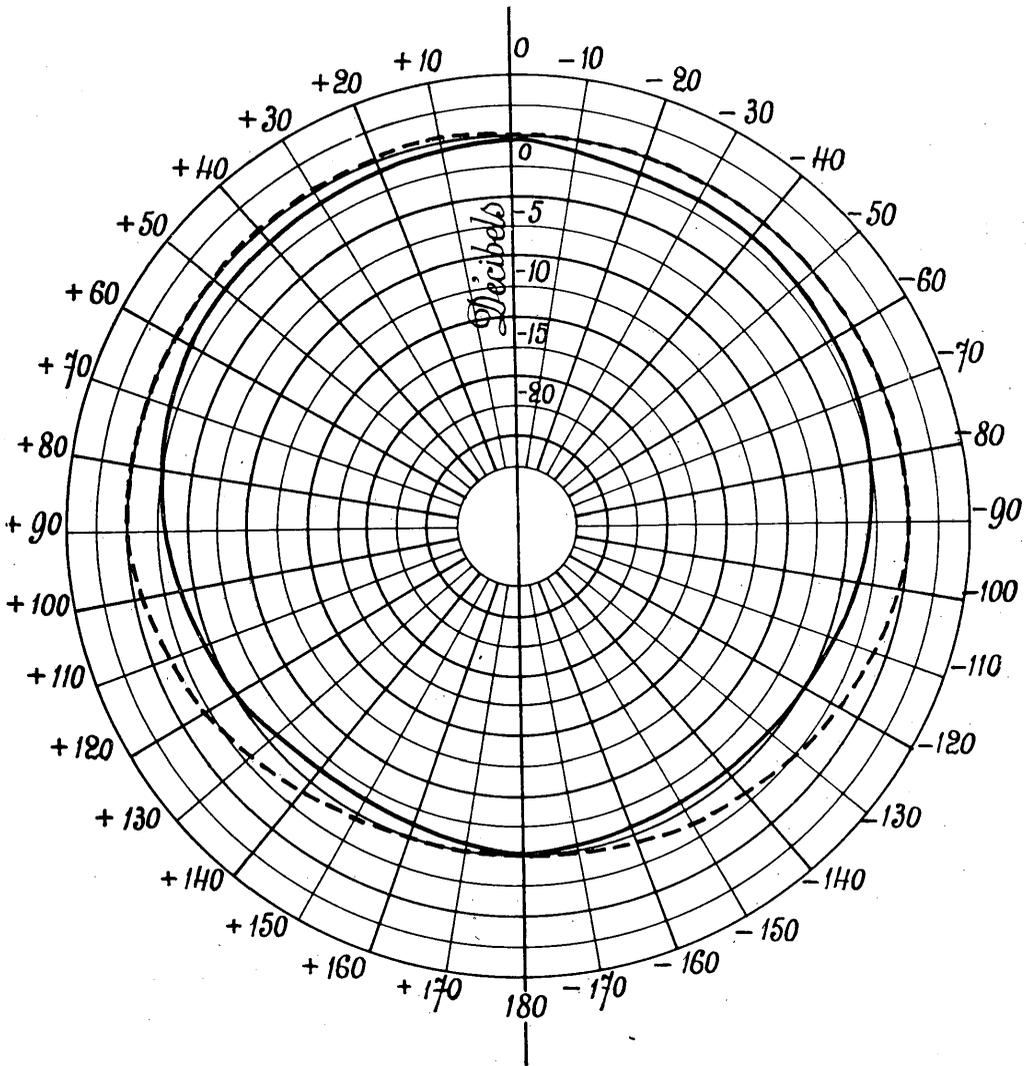
Coupe ab

FIGURE 1



Bouche artificielle

FIGURE 2



----- *Courbe publiée par Dunn et Farnsworth*

FIGURE 3. — *Bouche artificielle alimentée par la voix artificielle du C.N.E.T.
Courbe de directivité*

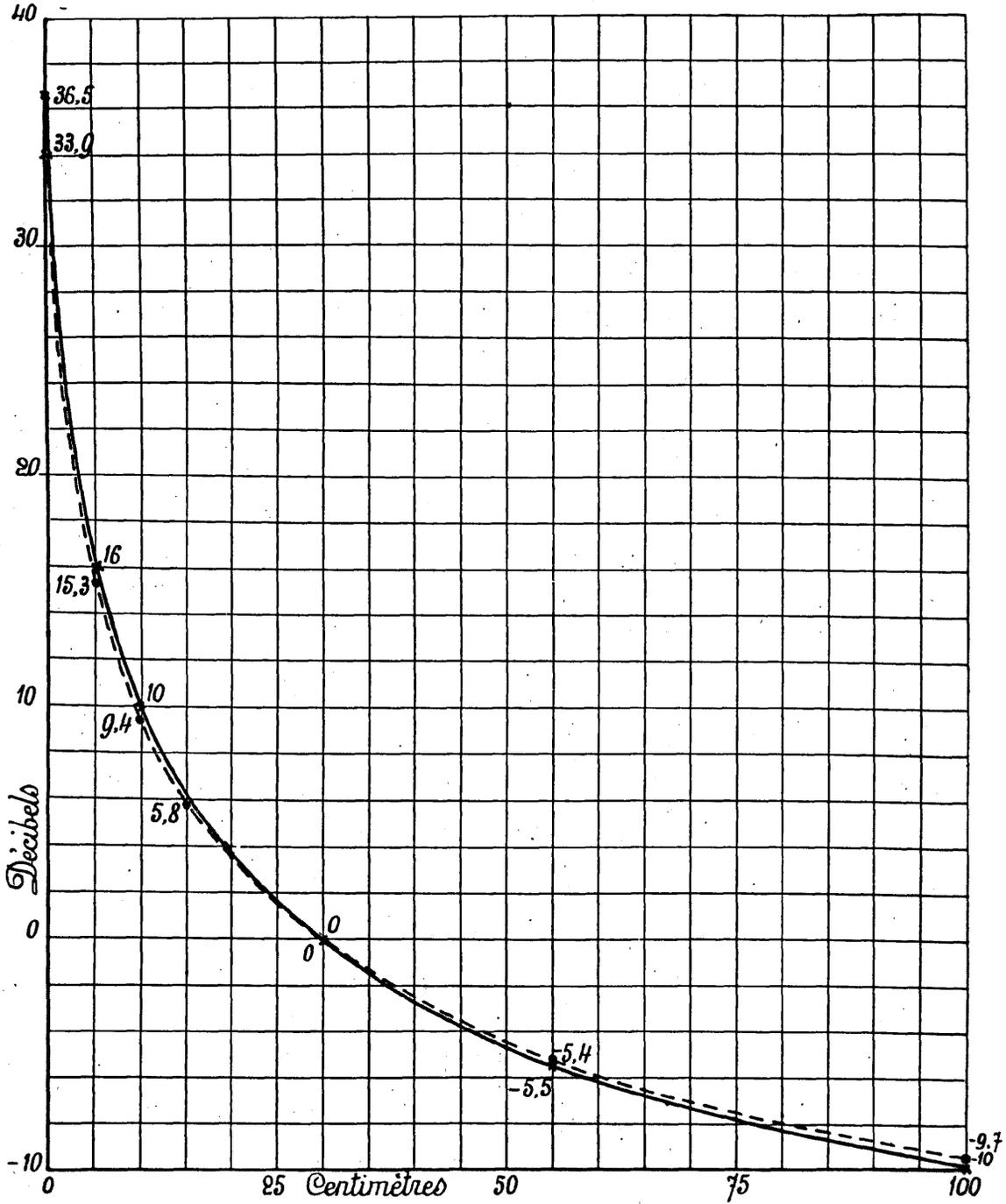
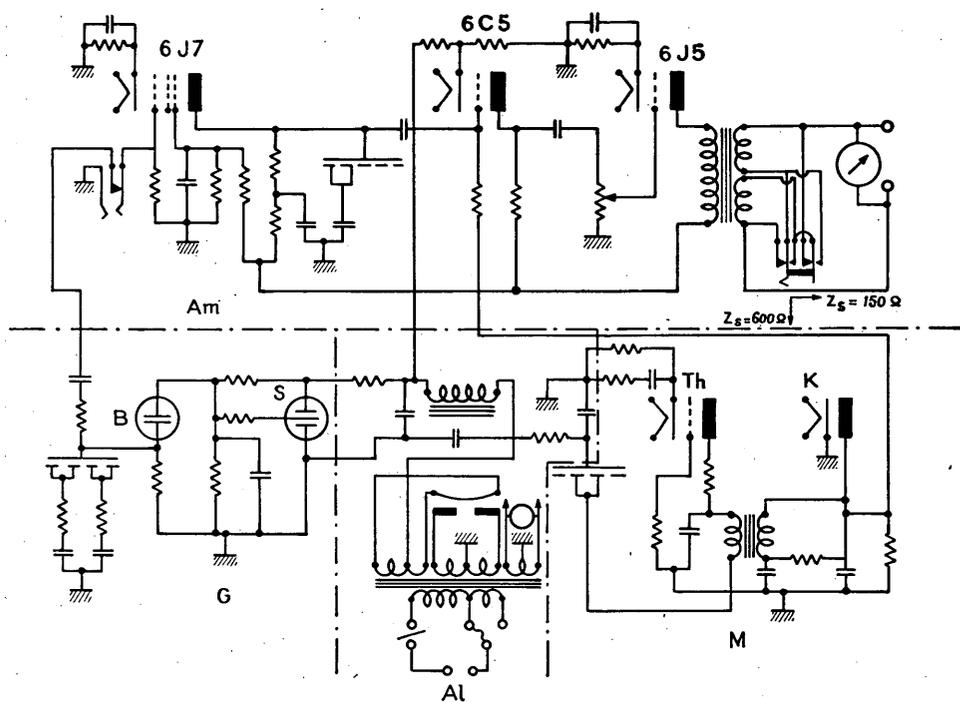


FIGURE 4. — *Bouche artificielle alimentée par la voix artificielle (voix masculine)*
Décroissance dans l'axe



M = Modulateur
 Amp = Amplificateur
 V = Voltmètre

S = Stabilisatrice
 K = Kénotron
 G = Générateur

Al = Alimentation
 B = Source de bruit
 Th = Thyatron

FIGURE 5. — Voix artificielle.

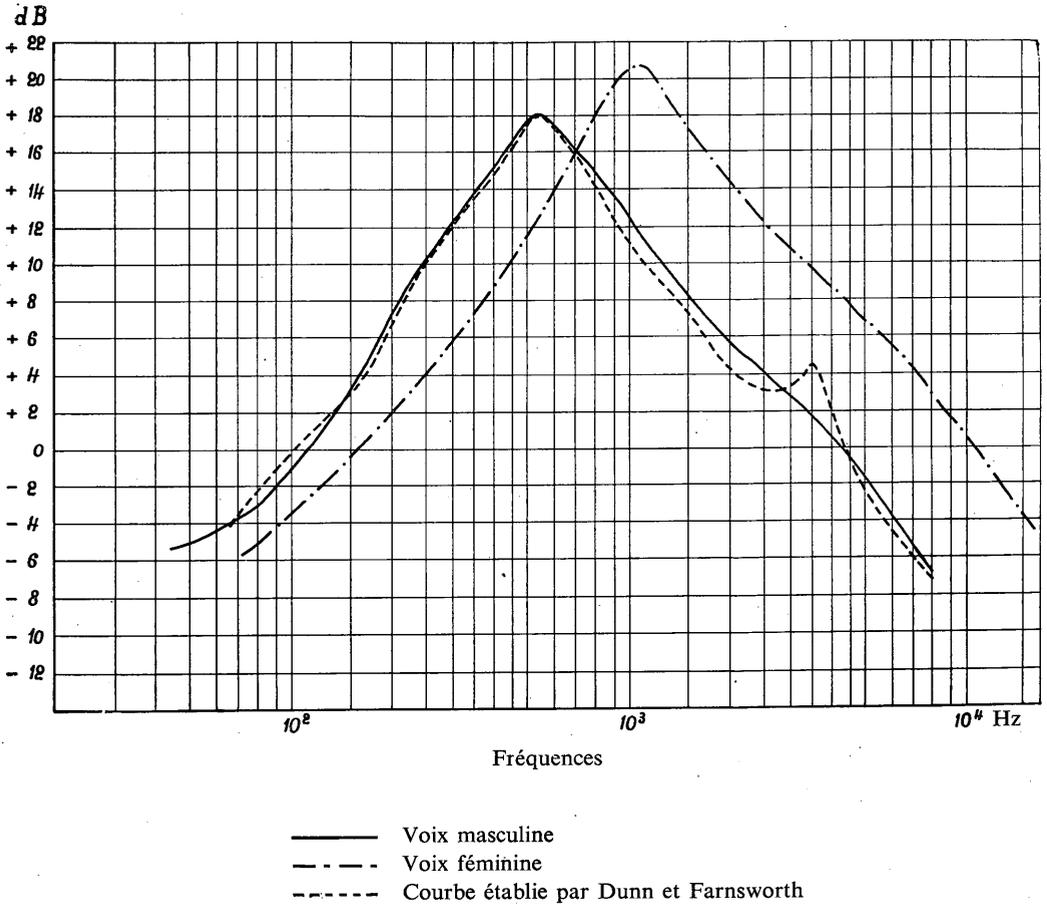
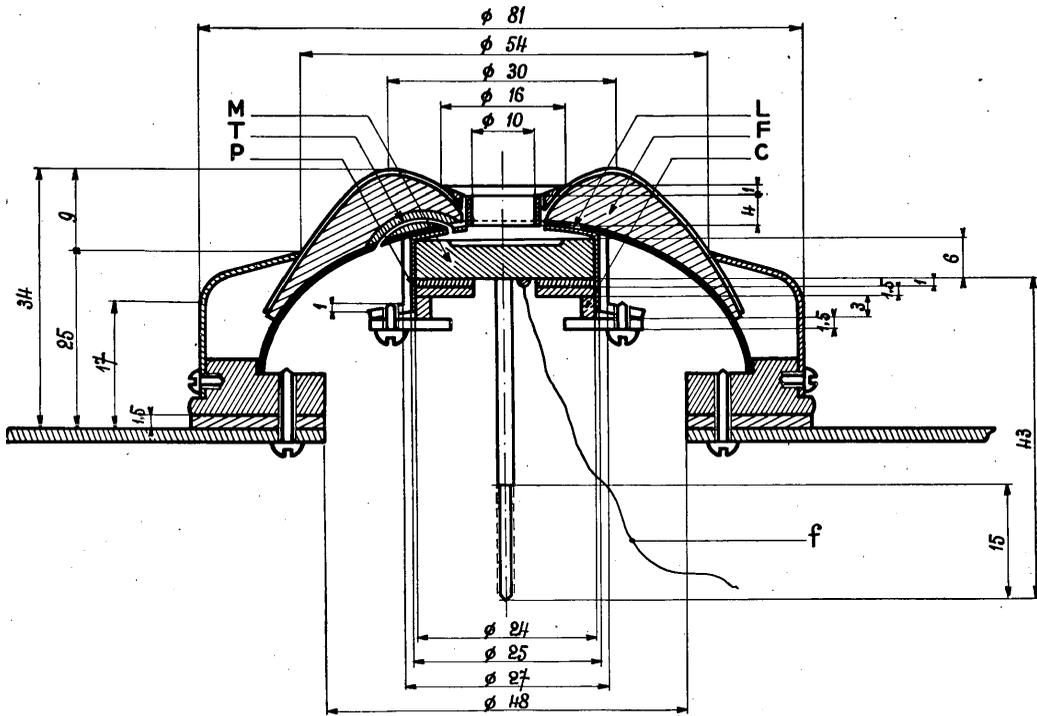


FIGURE 6. — *Voix artificielle. Spectre du courant recueilli aux bornes de sortie de l'appareil*



M = Microphone électrostatique
 T = Tube, diamètre intérieur 1/10 mm
 P = Papier + vernis bakélite
 L = Laiton

F = Feutre tassé
 G = Caoutchouc
 f = Fil à la masse

FIGURE 7. — Oreille artificielle

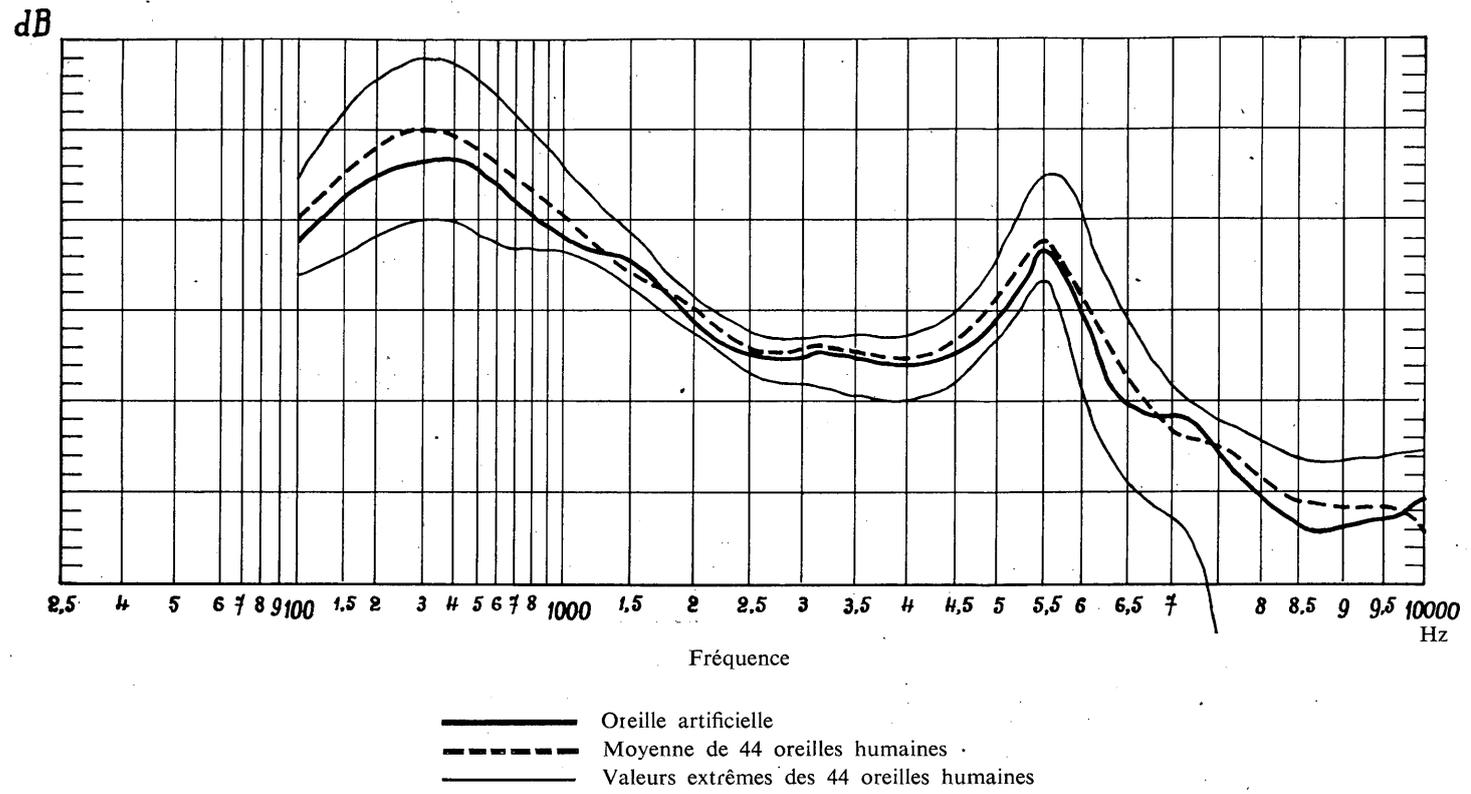


FIGURE 8

ANNEXE 8

BOUCHE ET OREILLE ARTIFICIELLES UTILISÉES PAR L'ADMINISTRATION DE LA RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE D'ALLEMAGNE

1. *La bouche artificielle*

La bouche artificielle comprend un amplificateur associé à un haut-parleur. La figure 1 donne une vue du système électrodynamique à aimant permanent, du réseau acoustique et de l'ouverture de sortie du son. La partie acoustique forme « la bouche artificielle » proprement dite. Elle comprend en outre un anneau représentant les lèvres et appelé « lèvres artificielles », lequel fixe la position correcte de l'appareil mesuré par rapport à la source sonore qui reproduit la voix artificielle. La membrane en forme de calotte sphérique donne le maximum de rigidité indispensable pour un service permanent de longue durée.

Les distorsions linéaires du haut-parleur sont compensées par un réseau électrique contenu dans l'amplificateur associé (figure 2). En utilisant l'appareil pour la mesure des équivalents de référence, cette compensation n'est nécessaire qu'en tant qu'elle influence le résultat de mesure. C'est pourquoi il suffit, pour la mesure avec le microphone du S.F.E.R.T., que la caractéristique « efficacité-fréquence » soit constante à $\pm 0,35$ N (± 3 db) près entre 200 Hz et 4000 Hz. La distorsion de non-linéarité est inférieure à 3%. L'efficacité absolue de la bouche artificielle (amplificateur + haut-parleur) est de 37,6 baryes par volt en utilisant pour la mesure le microphone du S.F.E.R.T. dans la position, par rapport aux lèvres de la bouche artificielle, fixée par le C.C.I.F. La bouche artificielle est en mesure de produire aussi une pression acoustique plus élevée de 1 néper sans distorsion de non-linéarité. La correction de la distorsion produite par l'élévation de pression acoustique due au microphone du S.F.E.R.T. est effectuée dans l'amplificateur de la bouche artificielle. Pour des mesures dans le champ acoustique libre, on peut supprimer cette correction à l'aide d'un interrupteur.

Le haut-parleur à petit pavillon rayonne la voix artificielle correspondant à la voix naturelle, dans une onde sphérique. La pression acoustique décroît dans l'axe de même façon (figure 3) que dans le cas de la bouche humaine; dans le plan de l'anneau représentant les lèvres, la source de la voix artificielle correspond à celle de la voix humaine.

2. *L'oreille artificielle.*

L'oreille artificielle a pour but de représenter l'impédance d'entrée de l'oreille humaine quand on utilise le récepteur téléphonique appliqué à l'oreille. Afin que cette condition puisse être remplie pour des pavillons de différents types, la surface de l'oreille artificielle doit être aménagée de manière appropriée. Pour des fréquences allant jusqu'à environ 1000 Hz, il suffit de fixer la résistance acoustique par le volume de la chambre de pression. Il a été constaté qu'un volume d'environ 3 cm³ pour l'oreille artificielle correspond bien à celui de l'oreille humaine. A de plus hautes fréquences, la forme et l'affaiblissement acoustique de la chambre de pression jouent aussi un rôle pour représenter la résistance acoustique de l'oreille.

La figure 4 donne une vue en coupe de l'oreille artificielle à cavité amortie utilisée dans l'appareil pour la mesure objective des équivalents de référence. La surface est conique afin de permettre une adaptation parfaite des différents pavillons de récepteurs téléphoniques. La cavité se compose d'un tube cylindrique à l'extrémité duquel on mesure la pression acoustique avec un petit microphone à condensateur. Pour représenter les pertes dans la cavité de l'oreille humaine, 16 canaux d'affaiblissement de différentes longueurs se trouvent disposés à l'extrémité.

La bouche artificielle et l'oreille artificielle ont été mises au point afin d'être employées dans l'appareil pour la mesure objective des équivalents de référence de l'Administration de la République fédérale d'Allemagne (voir l'Annexe 21 ci-après). Le principe de la mesure et la réalisation technique permettent d'effectuer toutes les mesures selon les recommandations du C.C.I.F., surtout les mesures des équivalents de référence par rapport au S.F.E.R.T. Les résultats des mesures se prêtent à une lecture directe. En outre, un hyscroscope permet une indication visible et immédiate de la caractéristique « efficacité-fréquence ».

BIBLIOGRAPHIE

- K. BRAUN. — Die Bezugdämpfung und ihre Berechnung aus der Restdämpfungskurve (Frequenzkurve) eines Übertragungssystems. *Telegraphen- und Fernsprechtechnik*, 28 (1939) p. 311.
- K. BRAUN. — Theoretische und experimentelle Untersuchung der Bezugdämpfung und der Lautstärke. *Telegraphen- und Fernsprechtechnik*, 29 (1940), p. 31.
- K. BRAUN. — Ein neuer Bezugdämpfungsmesser mit objektiver Erregung und Anzeige. *Telegraphen- und Fernsprechtechnik*, 29 (1940), p. 343-345.
- K. BRAUN et H. KOSCHEL. — Der Bezugdämpfungs-Messplatz mit direkter Anzeige und seine Bedeutung für die Verbesserung des Fernsprechens. *Fernmeldetechnische Zeitschrift*, 5 (1952), p. 447.
- J. GÖSSINGER et O. BÖHM. — Der Bezugdämpfungs-Messplatz zur elektro-akustischen Prüfung von Fernsprechsystemen. *Siemens-Zeitschrift*, 26 (1952), Heft 8, p. 377.

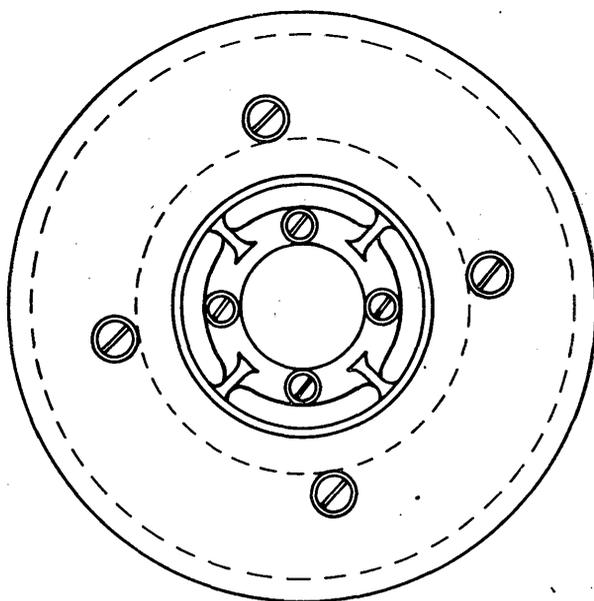
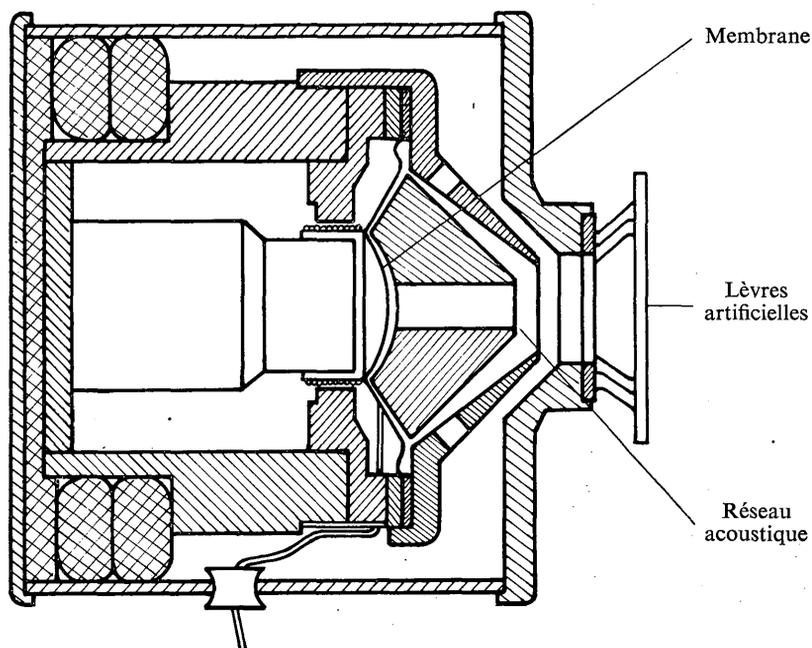


FIGURE 1. — *Bouche artificielle*

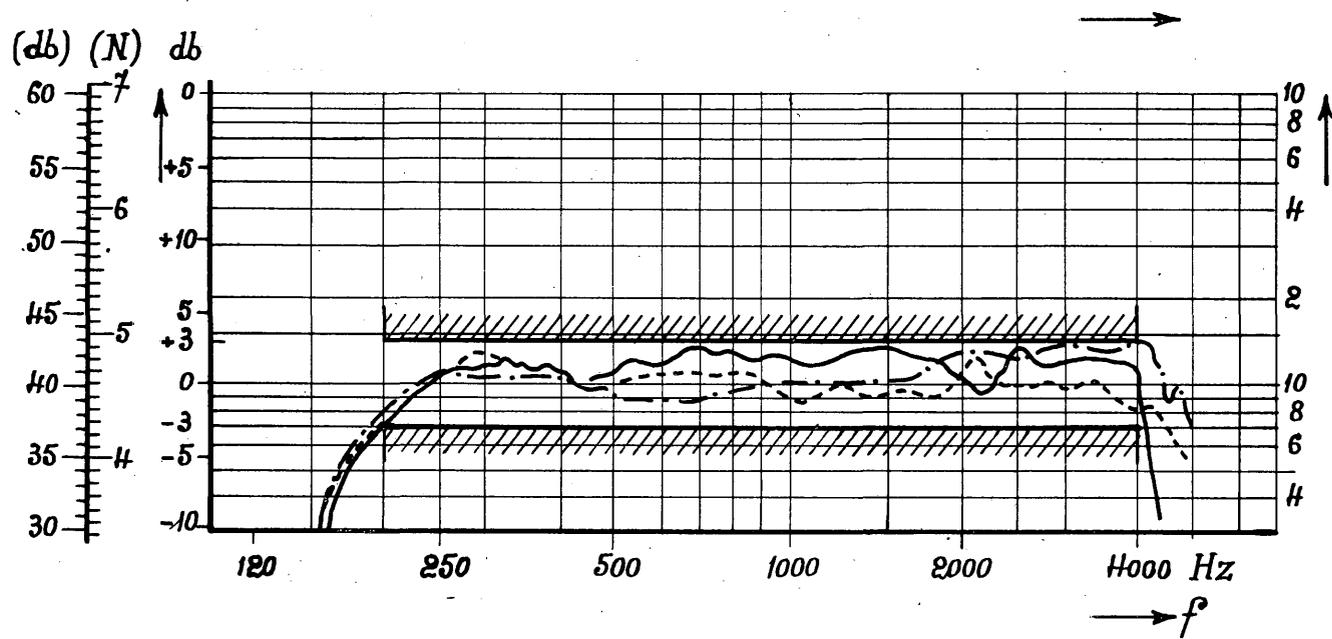


FIGURE 2. — Caractéristique « efficacité-fréquence » de la bouche artificielle, par rapport au microphone du S.F.E.R.T., pour 3 exemplaires

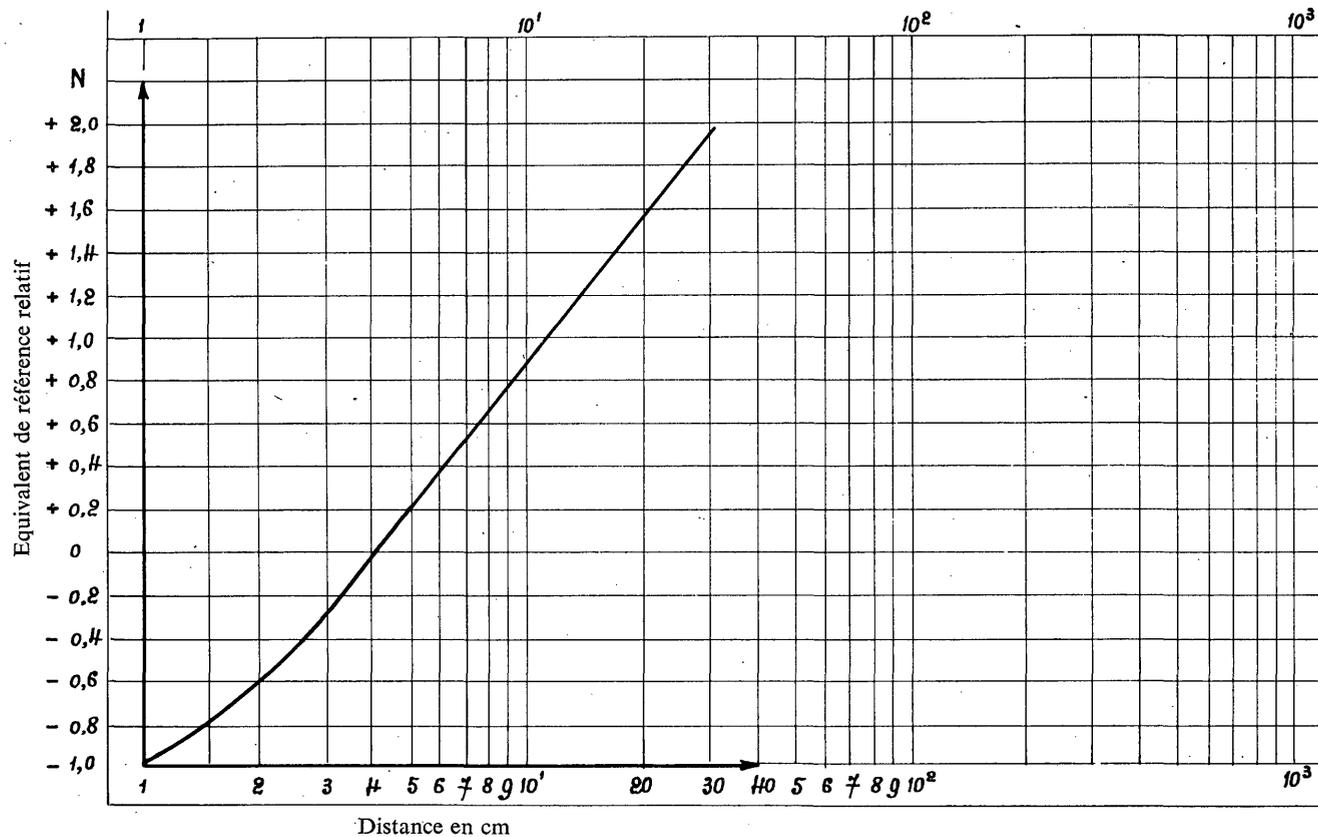


FIGURE 3. — Variation, en fonction de la distance, de la pression acoustique dans l'axe de la bouche artificielle

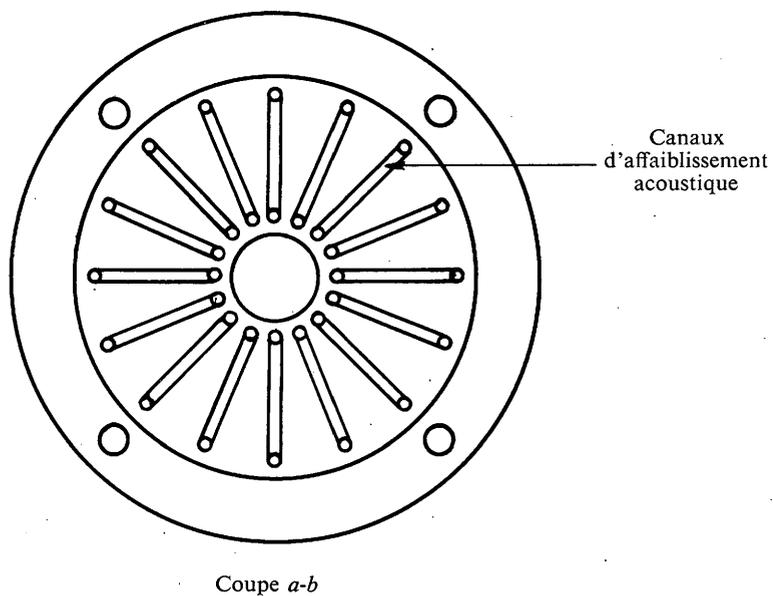
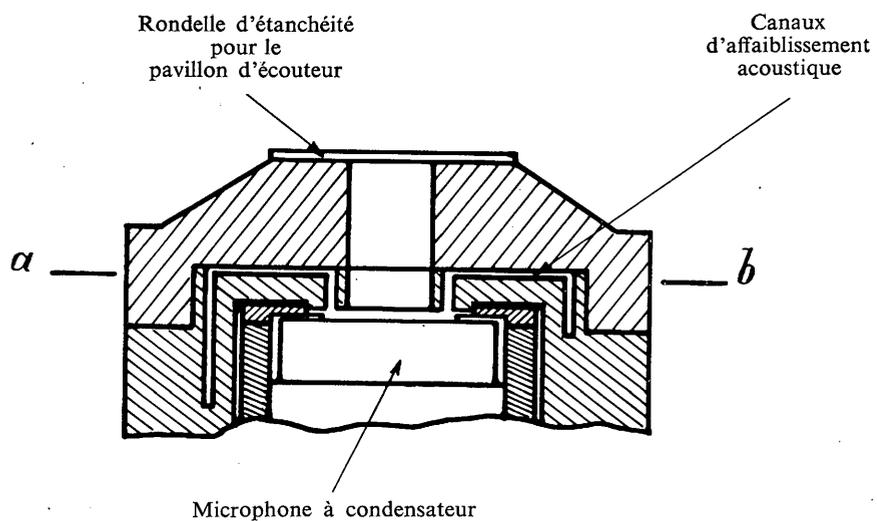


FIGURE 4. — Oreille artificielle

ANNEXE 9

OREILLE ARTIFICIELLE UTILISÉE PAR L'ADMINISTRATION BRITANNIQUE DES TÉLÉPHONES

1. Généralités

L'oreille artificielle utilisée par l'Administration britannique des téléphones pour l'étalonnage de récepteurs téléphoniques appliqués à l'extérieur de l'oreille est conçue de façon à présenter une impédance acoustique équivalente à celle d'une oreille humaine [1] quand le récepteur est parfaitement appliqué sur l'oreille. On n'a pas cherché à imiter une fuite acoustique entre le récepteur et l'oreille, qui existe en pratique, parce que cette fuite est variable et dépend du type de récepteur utilisé. On a trouvé que, les impédances étant adaptées comme il est indiqué ci-dessus, des comparaisons entre les efficacités de récepteurs de formes analogues effectuées au moyen de l'oreille artificielle donnent des résultats très voisins de ceux des mêmes comparaisons effectuées sur des oreilles humaines [2] [3].

L'oreille artificielle conforme à la norme britannique 2042 : 1953 se compose essentiellement d'une réactance acoustique due au volume d'une cavité, combinée avec une résistance acoustique. Le récepteur est couplé à la cavité et l'on mesure au moyen d'un microphone à sonde étalonné la pression acoustique produite pour une excitation connue du récepteur.

2. Construction

L'assemblage des éléments essentiels de l'oreille artificielle est représenté par la figure 1.

2.1 *Cavité et tube constituant la résistance acoustique.* — La cavité est en laiton pour éviter des couplages magnétiques et a la forme d'un tronc de cône circulaire droit ayant une profondeur de 1,0 cm et des diamètres extrêmes de 1,1 et 2,5 cm. L'élément constituant la résistance acoustique, sous forme de deux tubes de cuivre ayant chacun un diamètre interne de 0,475 cm et une longueur de 450 cm, part de la plus petite extrémité de la cavité. Afin d'obtenir l'impédance résistive requise, chaque tube contient plusieurs torons de laine de longueur décroissante et disposés de telle sorte que la densité de la laine augmente progres-

sivement quand on se dirige vers les extrémités des tubes qui sont éloignés du coupleur. Le nombre de torons dépend de la qualité de la laine utilisée. Pour l'appareil fourni pour l'A.R.A.E.N., on emploie sept torons de laine à trois brins ayant des longueurs de 25, 50, 75, 100, 125, 150 et 180 cm.

Des dispositions ont été prises pour que l'extrémité du tube d'un microphone à sonde puisse affleurer le fond de la cavité comme il est indiqué sur la figure 1.

2.2 *Microphones à sonde.* — Les propriétés essentielles du microphone à sonde sont qu'il doit introduire dans le champ acoustique une perturbation négligeable et en outre doit présenter une impédance acoustique relativement élevée à la petite cavité et aux résistances acoustiques en dérivation constituées par les tubes.

Ces conditions sont remplies par le microphone à sonde capillaire représenté sur la figure 2, pour lequel le tube de la sonde a un diamètre extérieur de 0,125 cm et dont l'impédance acoustique à l'extrémité de la sonde est d'environ 9000 ohms acoustiques, en majeure partie résistive.

L'organe essentiel de ce microphone est un système à bobine mobile logé dans un lourd boîtier en acier qui le protège des champs magnétiques extérieurs et des sources de bruit. Un couvercle de laiton, ayant la forme du profil de la membrane du microphone et placé à environ 0,03 cm de cette membrane, couple la fine couche d'air ainsi délimitée à l'intérieur étroit du tube de la sonde.

Dans le modèle employé avec l'équipement d'étalonnage de l'A.R.A.E.N., on a introduit une petite quantité de laine d'agneau à chaque extrémité du tube afin d'amortir les résonances naturelles du tube et d'obtenir ainsi une caractéristique « efficacité-fréquence » sensiblement horizontale dans la bande des fréquences de 80 Hz à 3000 Hz. Au-dessus de 3000 Hz, l'efficacité décroît lentement ainsi que l'indique la figure 3. Depuis l'introduction de ces microphones, des expériences ont montré [2] qu'il est possible d'obtenir une efficacité relativement constante sur une bande de fréquences beaucoup plus large (courbe en trait interrompu de la figure 3) par un choix approprié des dimensions du coupleur qui termine le tube sans introduire dans ce tube aucune matière absorbante.

2.3 *Assemblage.* — Les tubes sont enroulés en hélice de 20 cm de diamètre et logés dans une boîte carrée en bois. Un second compartiment cylindrique à l'intérieur de cette boîte sert à loger le microphone à sonde. Avec cette disposition il est possible d'entourer les tubes de sable et ainsi de réduire à des valeurs négligeables les perturbations dues à des bruits extérieurs et aux vibrations du support de cette boîte, tout en permettant d'accéder facilement au microphone à sonde.

3. Couplage avec le récepteur

Dans le cas de récepteurs avec des pavillons peu profonds, des types utilisés avec la plupart des postes téléphoniques commerciaux, ce pavillon est scellé directement au sommet du coupleur de l'oreille artificielle. Dans le cas d'un récepteur de l'A.R.A.E.N., muni d'un capuchon de caoutchouc qui limite un volume d'air important quand il est posé sur l'oreille humaine, on obtient un accord satisfaisant avec les étalonnages effectués sur des oreilles humaines quand le capuchon est scellé à une plaque métallique plate montée au ras de la surface supérieure du coupleur de l'oreille artificielle.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] W. WEST. — Measurement of the acoustical impedance of real ears. *The Post Office Electrical Engineers' Journal*, 22 (1929), p. 293.
- [2] — Sound pressures set up in real and artificial ears. *British Post Office Research Report*, No. 12.958, 1948.
- [3] — A Reference Telephone System, Calibration of Electro-Acoustic Equipment supplied to C.C.I.F. laboratories in Geneva. *British Post Office Research Report*, No. 13.200, 1950.
- [4] — An experimental probe microphone for the measurement of sound pressures. *The Post Office Electrical Engineers' Journal*, 45 (1953), p. 145.

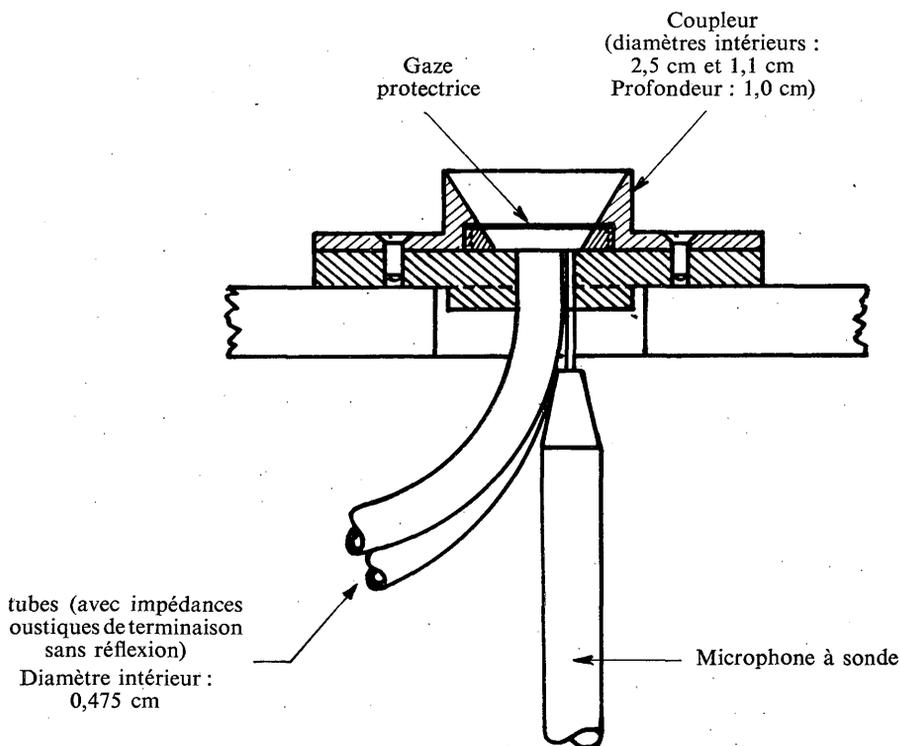


FIGURE 1. — Assemblage des éléments acoustiques de l'oreille artificielle britannique

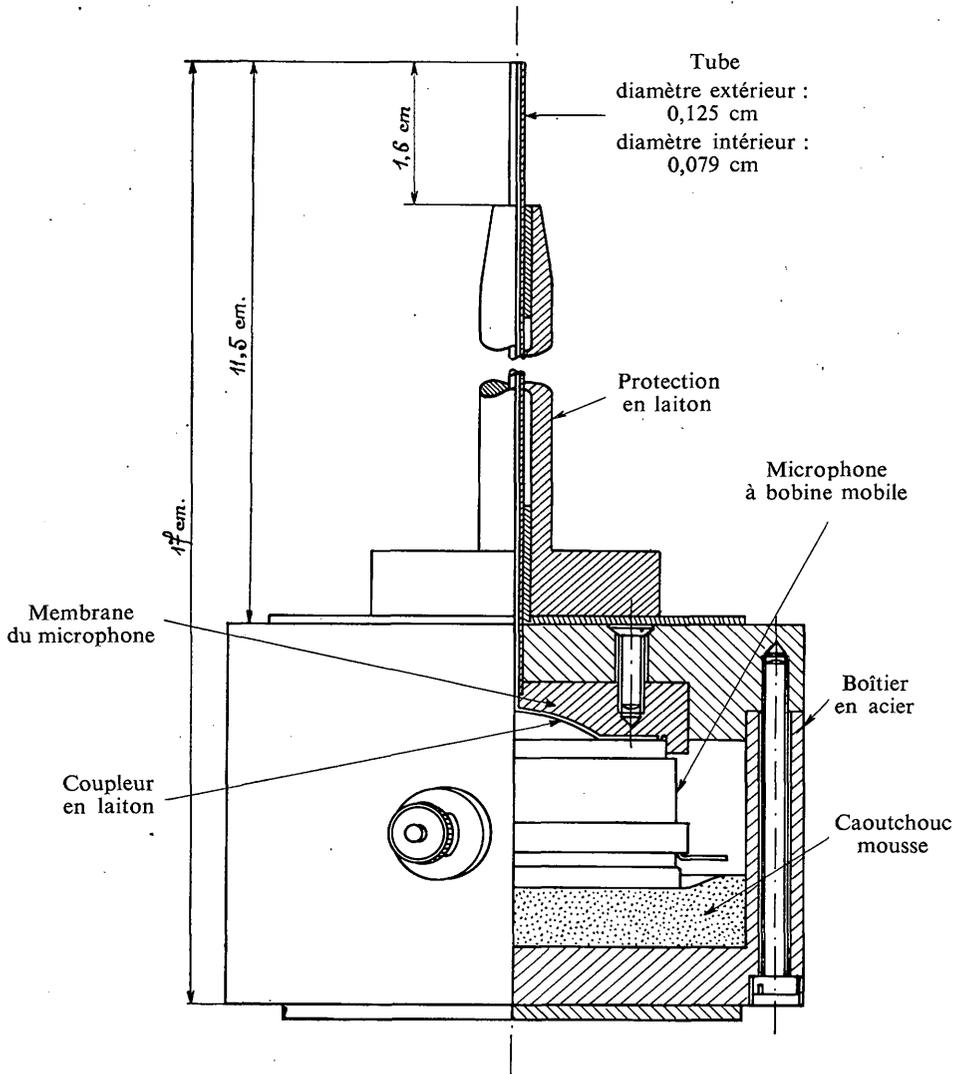


FIGURE 2. — Microphone à sonde

Étalonnage au disque de Rayleigh en fonction de la pression (avec un transformateur de 20 ohms/50 000 ohms)

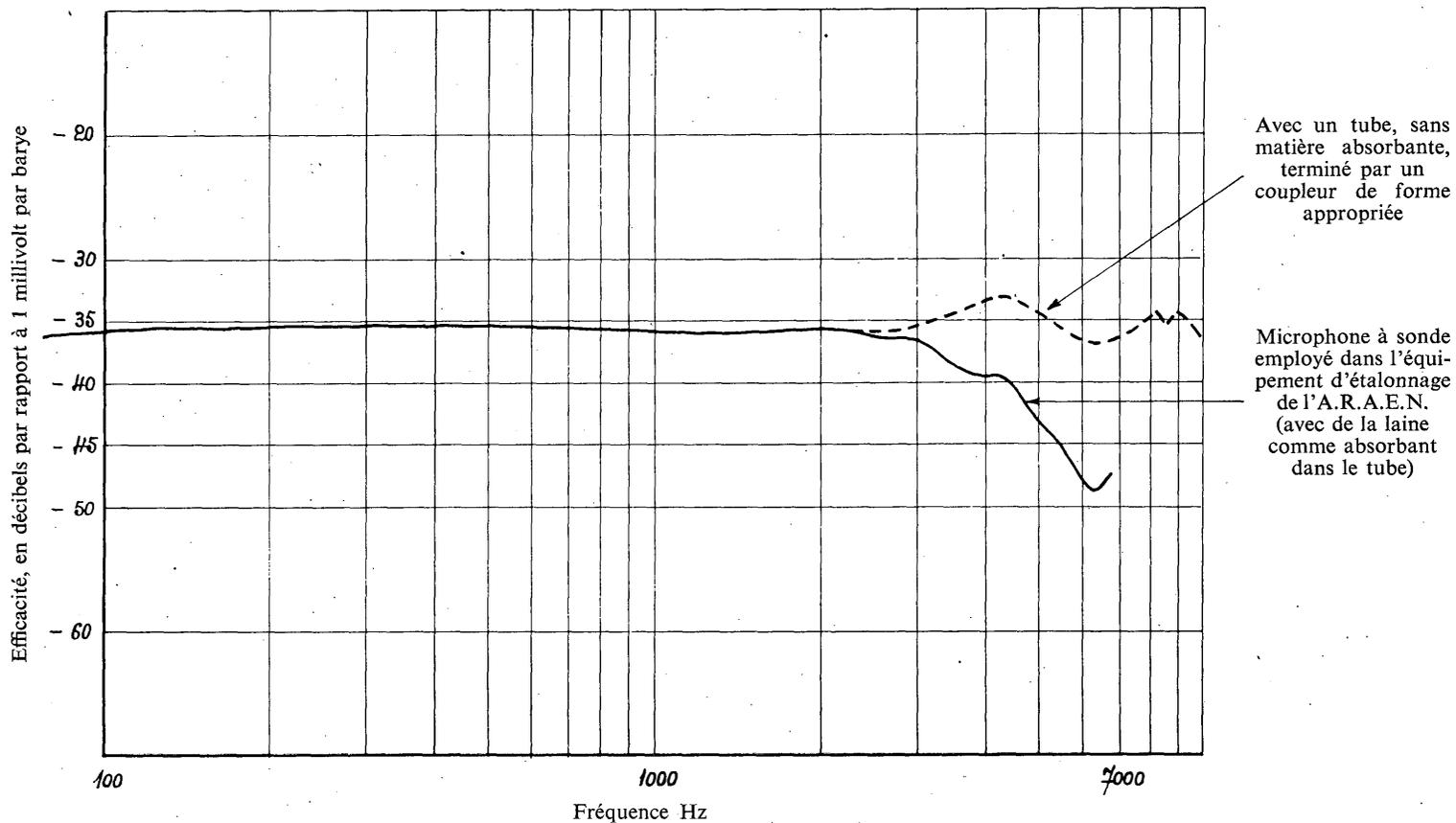


FIGURE 3. — Caractéristiques « efficacité-fréquence » d'un microphone à sonde typique

ANNEXE 10

BOUCHE ET OREILLE ARTIFICIELLES UTILISÉES PAR L'ADMINISTRATION SUISSE DES TÉLÉPHONES

1. Bouche artificielle

La bouche artificielle sert à créer une pression acoustique sur un microphone utilisé près de la source sonore. La répartition de la pression autour de la bouche artificielle, particulièrement dans son axe, doit correspondre autant que possible à celle de la tête humaine. La caractéristique de fréquence (mesurée dans l'axe de la tête) doit être aussi plate que possible dans la bande de fréquences intéressant la voix (100... 5000 Hz). Le facteur de distorsion doit être faible, même avec de fortes pressions acoustiques.

La bouche artificielle représentée à la figure 1 fonctionne d'après le principe des haut-parleurs dynamiques et a déjà été décrite dans une précédente publication [1].

Le système générateur est constitué par un puissant aimant permanent et la bobine oscillante d'un haut-parleur de 10 watts. La membrane de la bouche artificielle composée de 2 cônes est en aluminium d'une épaisseur de 0,5 mm. Sur son bord extérieur, la membrane est maintenue par un cuir tendre serré entre deux anneaux métalliques fixés eux-mêmes à l'aimant. La bobine oscillante est centrée par deux ressorts croisés, tendus, en fil d'acier de 0,2 mm de diamètre. L'aimant, la membrane, le dispositif de centrage et les anneaux métalliques forment une unité. Cette unité est fixée par des vis sur un anneau de fonte portant la bouche artificielle proprement dite. Celle-ci sert à obtenir la répartition désirée de la pression acoustique devant la bouche artificielle. La distance entre la membrane et la bouche artificielle n'est que de 1,5 mm afin d'avoir le plus petit volume possible pour atteindre une fréquence limite élevée. L'ouverture de sortie déterminée empiriquement est un entonnoir s'ouvrant rapidement, qui évite une trop forte concentration aux hautes fréquences et ne présente aucune surface plane, ce qui empêche la formation d'ondes stationnaires entre le microphone à mesurer et la bouche.

Les figures 2 à 5 représentent les propriétés de la bouche artificielle.

2. L'oreille artificielle

Une oreille artificielle destinée à mesurer les récepteurs doit reproduire aussi exactement que possible l'impédance acoustique de l'oreille humaine dans la bande

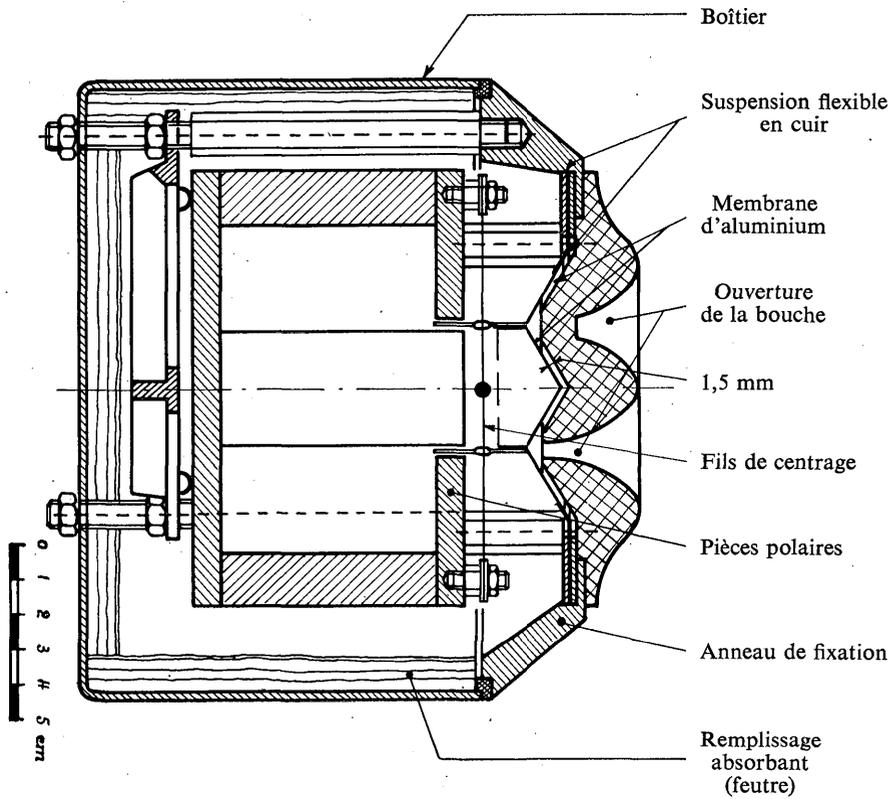


FIGURE 1. — Bouche artificielle

PROPRIÉTÉS DE LA BOUCHE ARTIFICIELLE

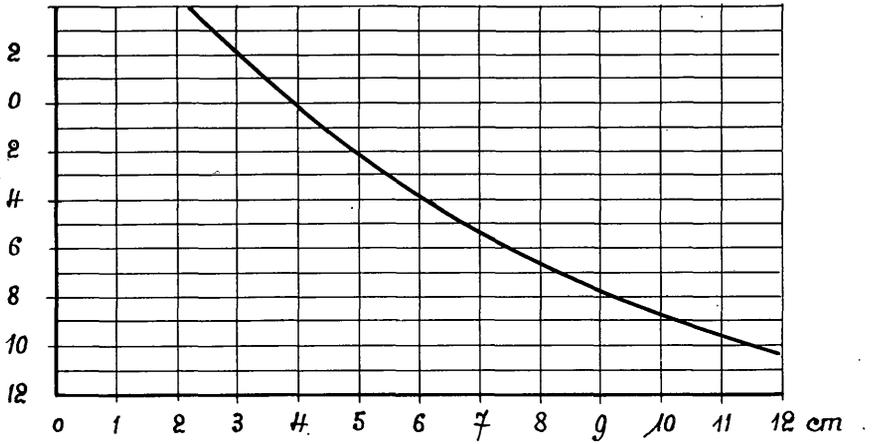


FIGURE 2. — Diminution moyenne de la pression acoustique en fonction de l'éloignement dans l'axe de la bouche artificielle

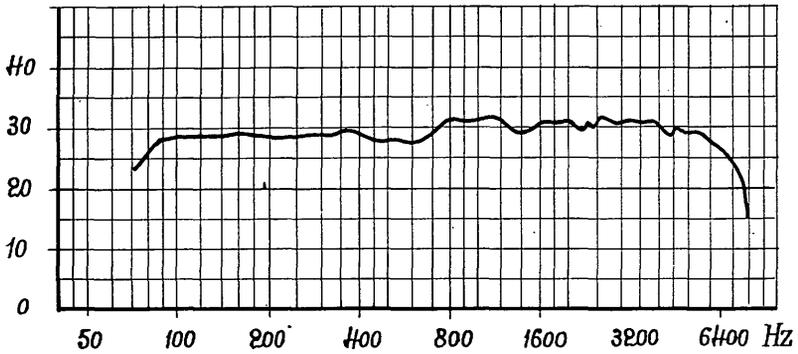
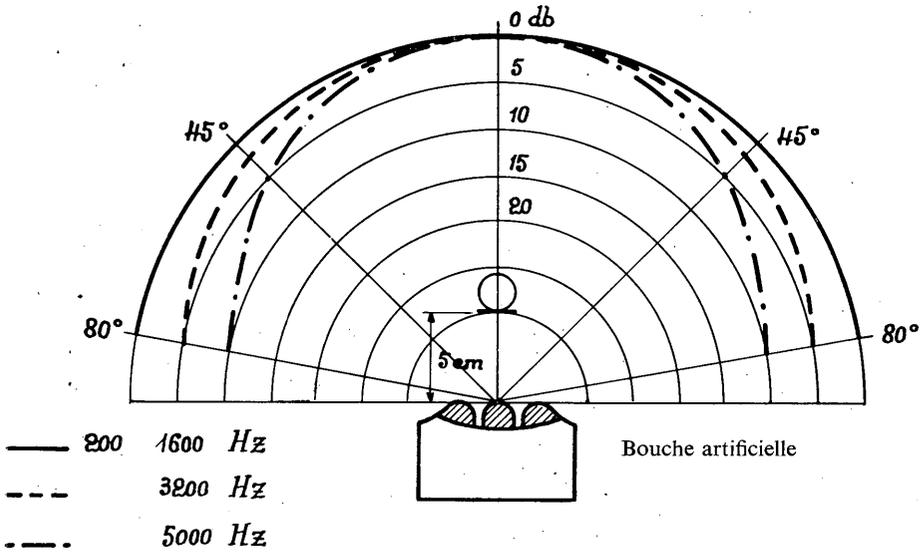
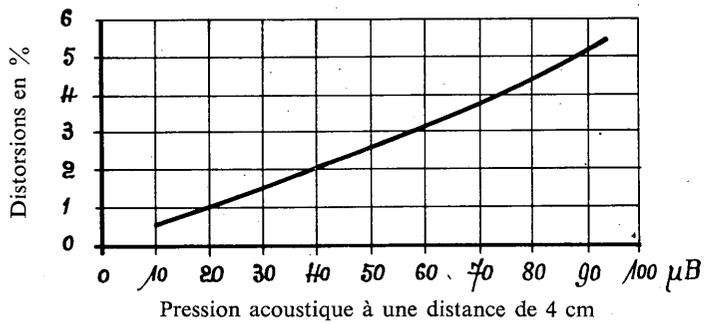


FIGURE 3. — Courbe de réponse de la bouche artificielle, mesurée à travers son filtre correcteur

PROPRIÉTÉS DE LA BÔUCHE ARTIFICIELLE

FIGURE 4. — *Diagramme polaire*FIGURE 5. — *Distorsions à 100 Hz*

des fréquences intéressantes. La pression acoustique mesurée au moyen de l'oreille artificielle doit correspondre exactement à la pression exercée sur l'oreille naturelle en un point défini. L'oreille doit être stable et permettre des mesures reproductibles.

L'introduction d'une oreille artificielle de référence provisoire recommandée par le C.C.I.F. représente un premier pas vers la normalisation souhaitable des oreilles artificielles. La figure 6 montre notre exécution de cette oreille, combinée avec un préamplificateur.

Dans le cas de récepteurs à large bande de fréquences et faible impédance mécanique, une meilleure reproduction de l'impédance acoustique de l'oreille humaine est désirable. A cet effet on a repris le principe de construction d'une oreille artificielle décrite par H. Weber [2], dont les propriétés acoustiques ont fait leurs preuves. Cette oreille artificielle « P.T.T. Mod. 51 » (figure 7) se compose de deux cavités (1,5 cm³ entre le microphone à condensateur et l'ouverture de l'oreille et une cavité couplée de 1,4 cm³) reliées entre elles par un canal fortement amorti. Pour les fréquences supérieures à 1000 Hz on obtient ainsi une impédance acoustique plus élevée que celle correspondant au volume total des deux cavités. En outre, le canal de liaison fournit encore la résistance acoustique nécessaire. La forme extérieure de l'oreille artificielle a été dictée par la nécessité d'obtenir des résultats de mesures comparables à ceux de l'oreille humaine.

Sur le préamplificateur représenté à la figure 6, on peut adapter tous les coupleurs à disposition, en particulier celui de l'oreille artificielle du type « P.T.T. Mod. 51 ».

La figure 8 donne une vue d'ensemble du dispositif de mesure. Le combiné est mis en place à l'aide d'un dispositif de centrage (visible sur le côté gauche du croquis), qui est tout d'abord placé sur les guides de centrage à la place de l'oreille artificielle. On serre le microphone en tournant le bouton du côté du boîtier, on enlève le dispositif de centrage, et l'on place sur le combiné l'oreille artificielle qui, par son poids d'environ 500 gr., exerce exactement la pression prescrite. Entre les guides de centrage et le guidage de l'oreille artificielle, il y a suffisamment de jeu pour assurer l'étanchéité entre l'oreille et le pavillon du récepteur qui pourrait être compromise par un coincement.

Pour mesurer les récepteurs normaux, on dispose d'un support de capsule spécial qui est centré automatiquement lorsqu'on le met en place et qui n'a pas besoin d'être serré.

3. Mesure des caractéristiques « efficacité-fréquence » des microphones à charbon

Il est difficile de faire une mesure exacte et reproductible de la caractéristique « efficacité-fréquence » d'un microphone à charbon, car la position réciproque des granules de charbon n'est pas définie d'une façon absolue et peut varier très sensiblement suivant la nature de l'excitation acoustique. C'est pourquoi les méthodes de mesure connues actuellement donnent souvent des résultats très différents.

Pour relever la caractéristique « efficacité-fréquence » des microphones à charbon, on utilise un oscillateur hétérodyne dont on fait varier la fréquence au moyen d'un mécanisme automatique, alors que la tension de sortie reste constante dans toute la gamme des fréquences. Les exigences imposées, par cette méthode, à la caractéristique « efficacité-fréquence » de la bouche artificielle ne sont pas

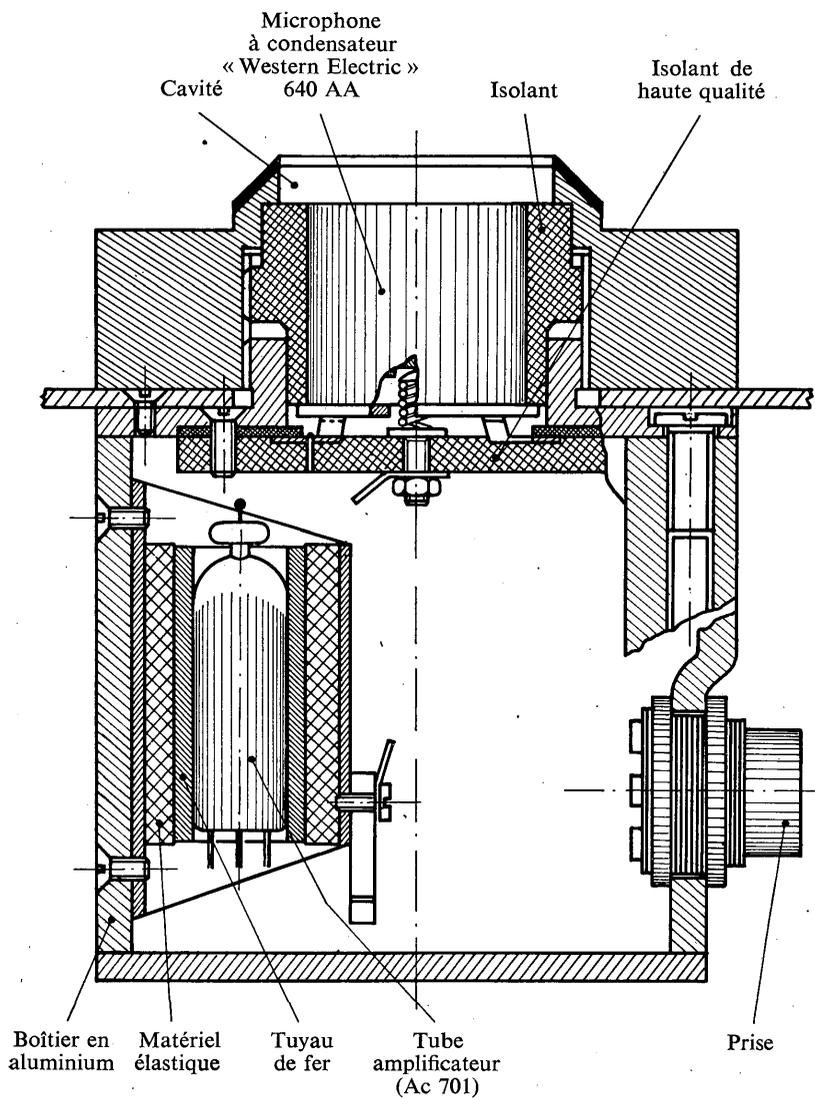
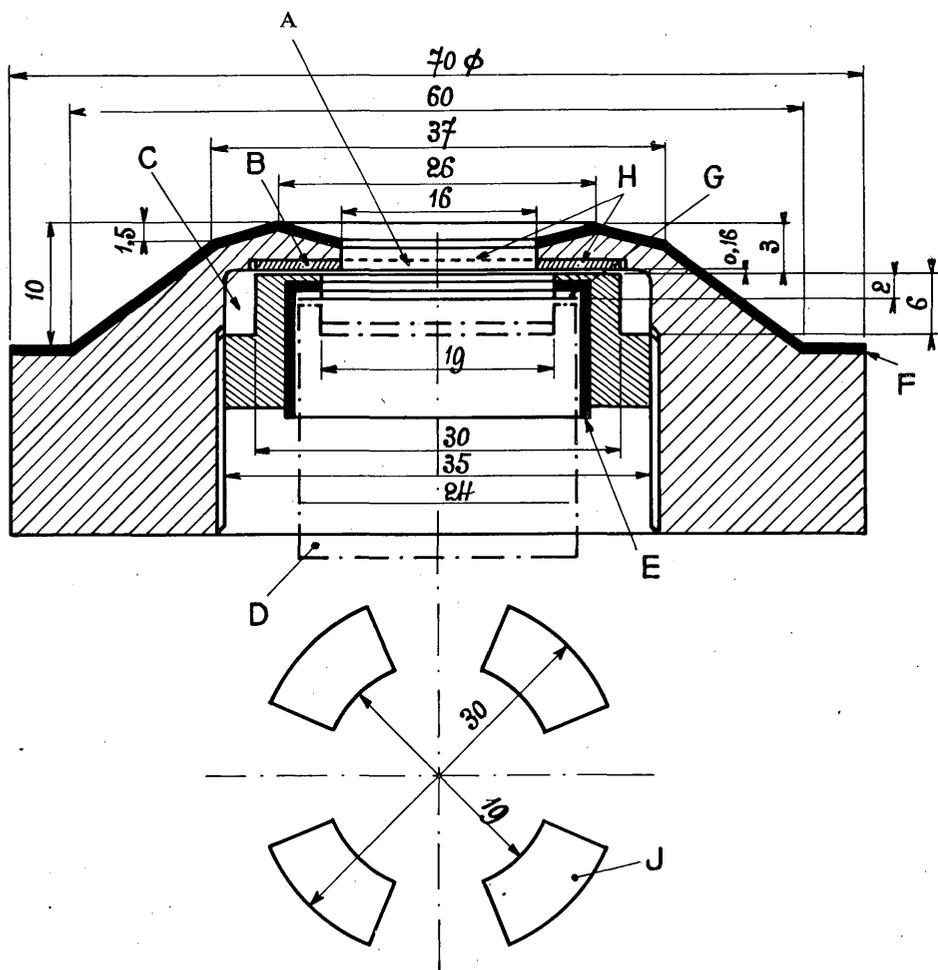


FIGURE 6. — Oreille artificielle (coupe)
 (avec le coupleur de l'oreille artificielle de référence provisoire
 recommandée par le C.C.I.F.)



A = Cavité externe (1,5 cm²)
 B = Canal de couplage
 C = Cavité couplée (1,4 cm²)
 D = Microphone « Western Electric »
 640 AA
 E = Isolant

F = Caoutchouc mou
 G = Etanchéité en caoutchouc
 H = Tissus poreux avec anneau de fixation
 (protection du microphone)
 J = Remplissage partiel du canal de couplage

FIGURE 7. — Coupe de l'oreille artificielle modèle 51 P.T.T.

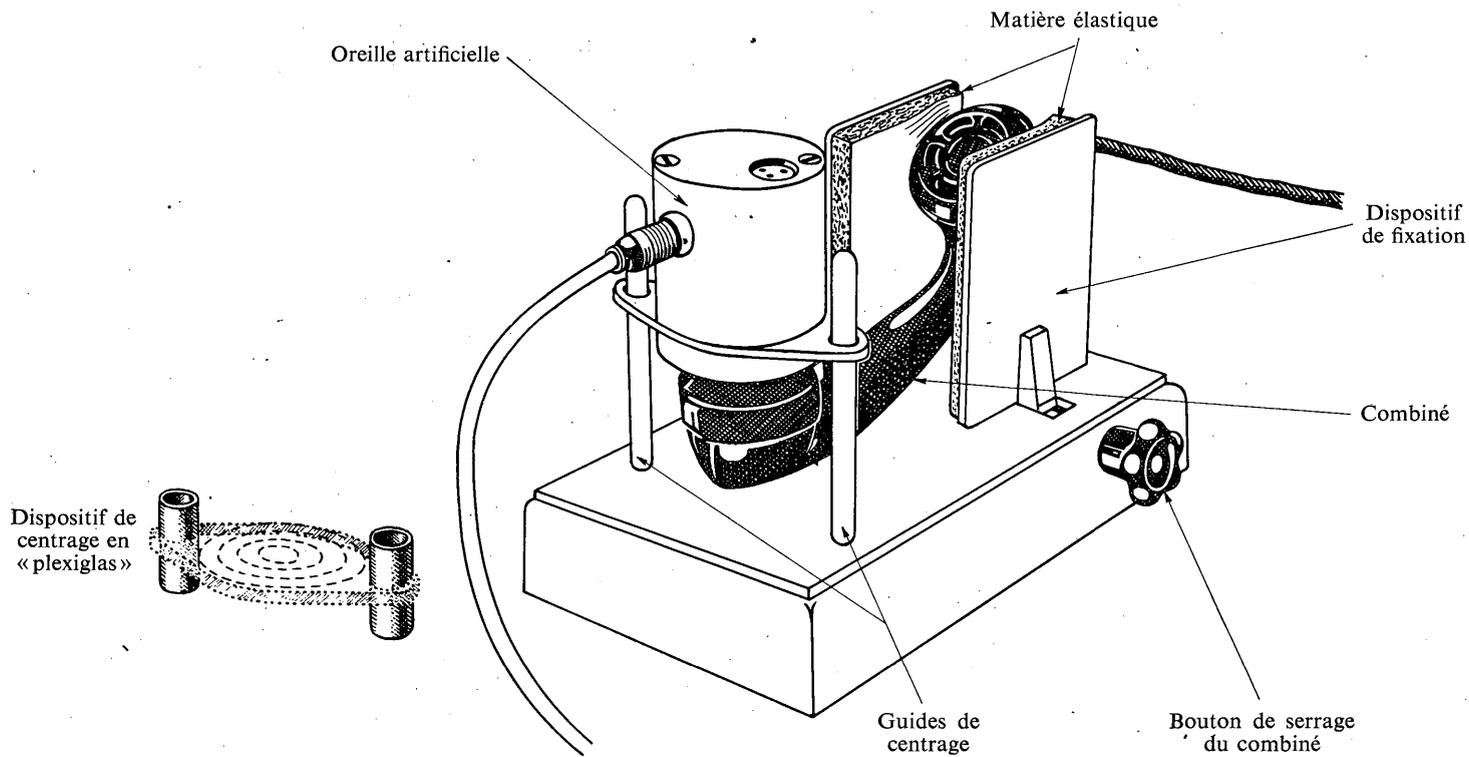


FIGURE 8. — *Dispositif pour la mesure de récepteurs téléphoniques*

grandes. Du fait qu'à un moment donné il n'y a jamais qu'un seul son, on peut contrôler la pression au moyen d'un microphone étalon, et la maintenir constante à l'aide d'un amplificateur à régulation automatique.

Suivant le temps nécessaire pour parcourir une bande de fréquences donnée, on distingue entre un balayage lent ou une variation rythmique de fréquences.

Pour mesurer la caractéristique de fréquence avec un balayage lent, on utilise le générateur de fréquences construit selon les directives du C.C.I.F. La bande de fréquences comprise entre 30 et 10 000 Hz est balayée automatiquement en 121 secondes. Puisque le balayage est lent, les variations de tension momentanées restent petites et l'on peut utiliser pour l'enregistrement un instrument mécanique. L'inconvénient du balayage de fréquences lent est que, durant l'excitation acoustique, les granules de charbon du microphone ont le temps de se regrouper. Il arrive que ces microphones « s'endorment » et perdent entièrement leur sensibilité.

Ce « sommeil » des microphones ne correspond pas à leur réaction normale lorsqu'ils sont excités par la voix. Pour essayer les microphones à charbon sous des conditions se rapprochant le plus possible de celles qu'on rencontre dans l'exploitation (la voix se compose d'un mélange de fréquences), on interrompt toutes les 2 secondes la transmission d'un son pur par la transmission d'un bruit de fond (1 seconde à peu près), qui empêche le « sommeil » du microphone. Des essais furent effectués avec un bruit de fond dont l'énergie spectrale est continue ou selon la répartition de la voix humaine. Dans les deux cas, on obtient des mesures bien reproductibles. Bien que la transmission d'un bruit de fond soit chaque fois très brève, la mesure est influencée favorablement et on se rapproche des conditions rencontrées dans le cas de transmission de la voix.

La figure 9 montre le schéma d'une installation de mesure qui a donné toute satisfaction. En employant une oreille artificielle, on peut mesurer en outre l'affaiblissement de l'effet local du poste d'abonné.

La commutation « son pur / bruit de fond » s'effectue automatiquement par le dispositif d'entraînement du générateur du son.

Comme il est indispensable d'avoir une pression acoustique aussi constante que possible, on utilise un amplificateur à régulation automatique qui équilibre les variations de la caractéristique de fréquence de la bouche artificielle. Le schéma de principe de l'amplificateur à régulation automatique est représenté à la figure 10.

La bouche artificielle est décrite dans la section 1.

Comme le montre la figure 9, le microphone est mesuré dans un circuit normal avec le poste d'abonné et les ponts d'alimentation usuels d'un central téléphonique. L'impédance de terminaison est de 600 ohms.

La figure 11 montre, à titre d'exemple, les résultats obtenus avec un microphone de mauvaise qualité. Sans transmission de bruit de fond (courbe *a*), ce microphone n'était pas assez sensible et les mesures n'étaient pas reproductibles. Avec la transmission périodique d'un bruit de fond (courbe *c*), on obtient des mesures bien reproductibles.

Au moyen de cette méthode la caractéristique de fréquence n'étant enregistrée que de manière fragmentaire, on peut compléter la courbe à la main avec une exactitude suffisante. On peut obvier à cet inconvénient en recourant à une double mesure et en permutant le son pur et le bruit de fond.

Le niveau de bruit de fond étant également enregistré par l'hypsographe et devant, pour un microphone idéal, produire toujours la même déviation, des

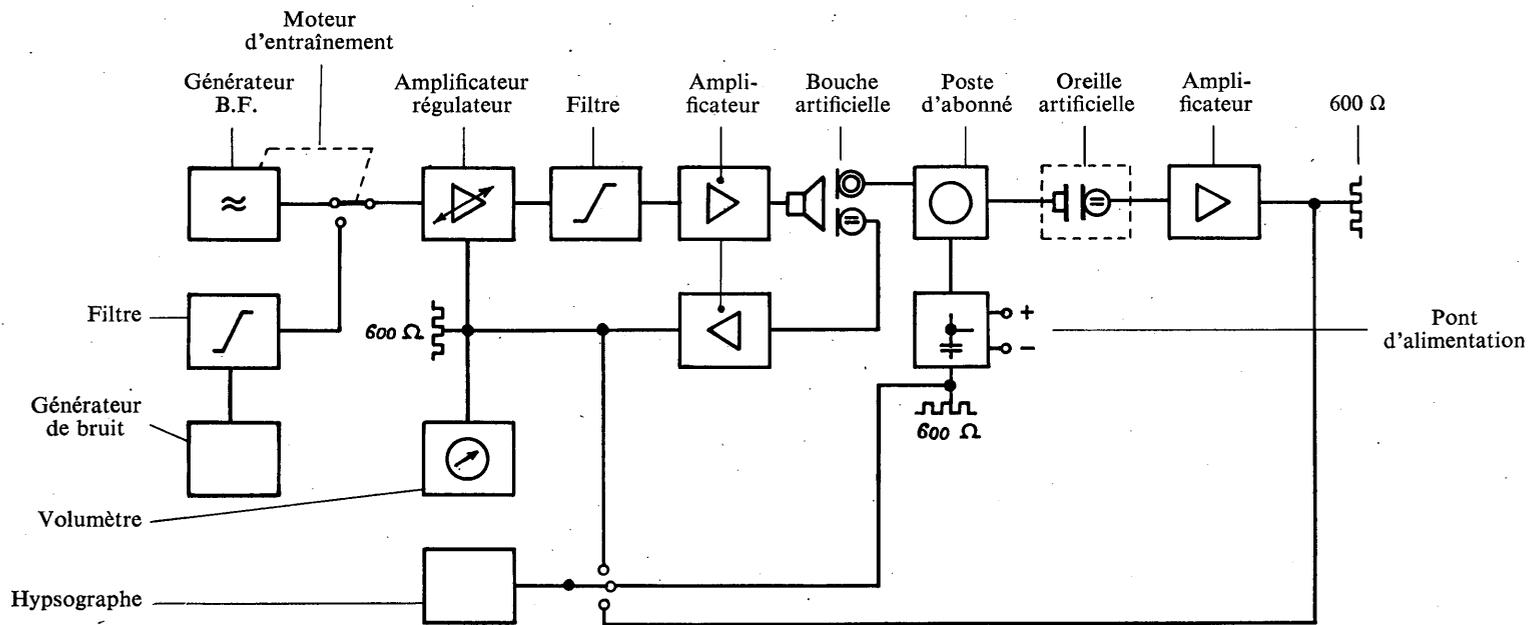


FIGURE 9. — Montage pour la mesure à l'émission et de l'effet local, à l'aide d'un générateur conforme aux spécifications du C.C.I.F. et d'un générateur de bruit

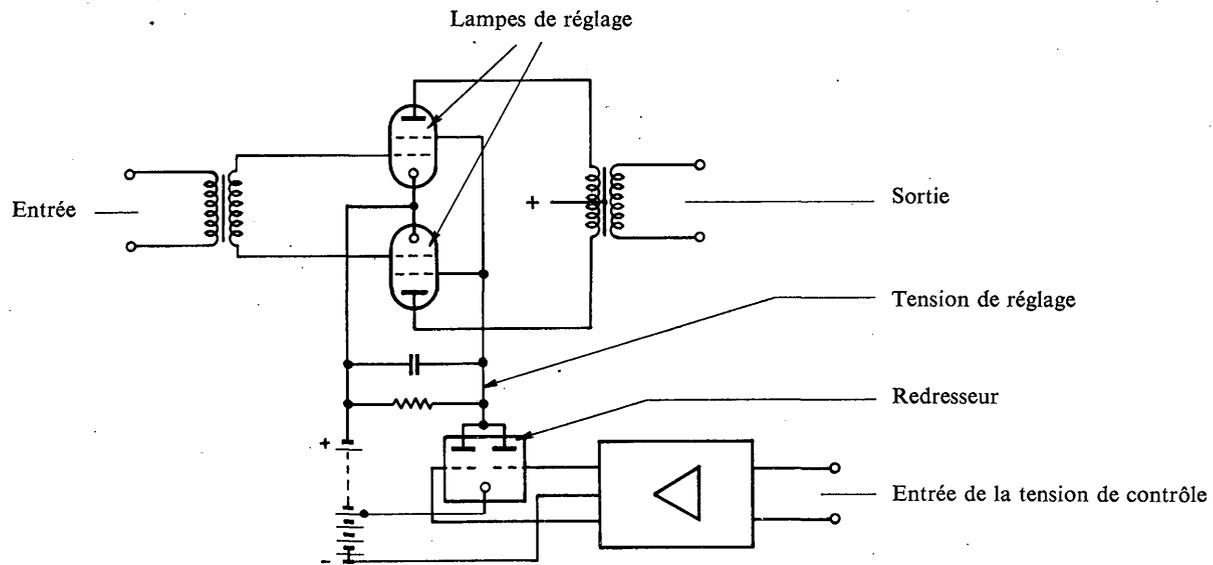


FIGURE 10. — Schéma de principe de l'amplificateur de réglage

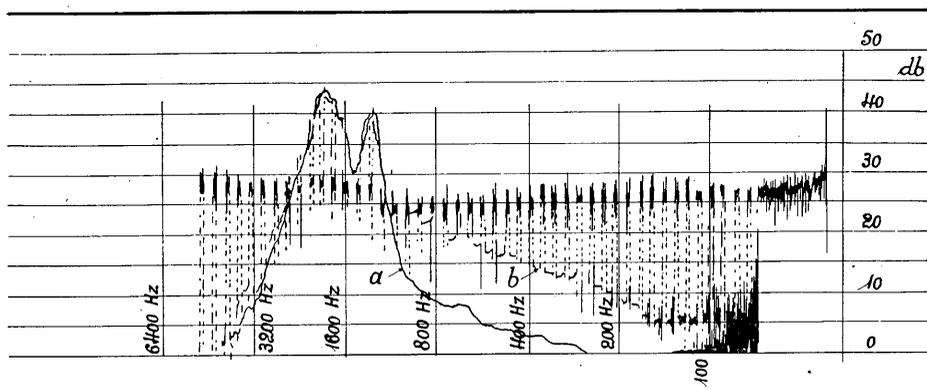


FIGURE 11. — *Courbe de réponse d'un microphone de mauvaise qualité*
 Courbe *a* relevée avec son pur
 Courbe *b* relevée avec son pur, et bruit de fond

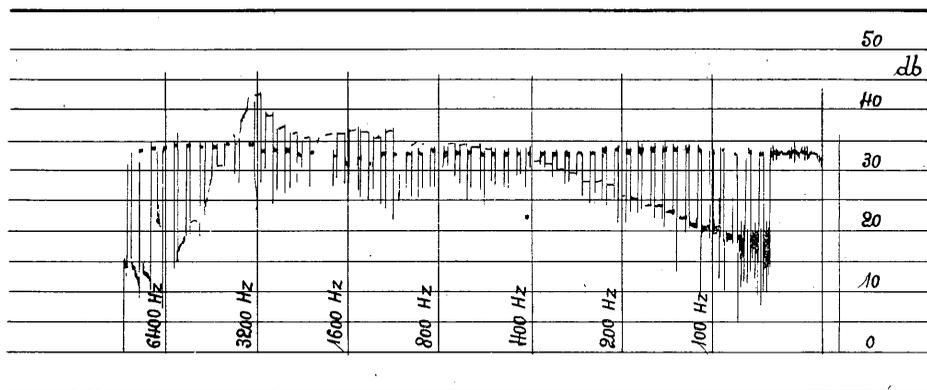


FIGURE 12. — *Courbe de réponse d'un microphone de bonne qualité,*
relevée avec son pur, et bruit de fond

irrégularités éventuelles des niveaux enregistrés permettent de conclure à des instabilités du microphone.

La figure 12 montre les résultats obtenus avec un microphone de bonne qualité.

La méthode décrite ci-dessus est employée surtout lorsqu'il s'agit d'enregistrer la caractéristique de fréquence sous la forme d'un document.

Pour les mesures qui n'exigent pas de documentation spéciale (contrôles, essais préliminaires, etc.), on dispose de l'installation de mesure représentée à la figure 13. L'oscillateur hétérodyne balaie, périodiquement dans les deux sens, la bande des fréquences environ une fois par seconde.

L'amplificateur à régulation automatique a été ajusté à la suite de quelques essais de manière que le temps de régulation soit d'environ 0,05 seconde et le degré de régulation de 3,3%. La fréquence de mesure la plus basse qui ne subit pas de distorsion et demeure stable est approximativement de 200 Hz.

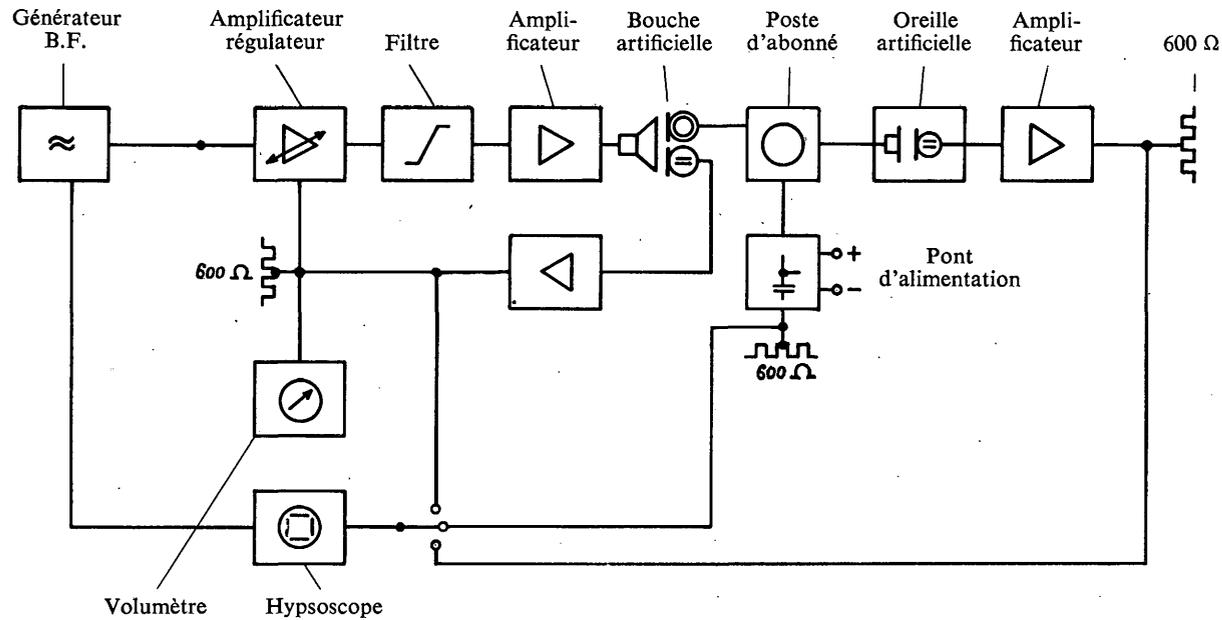


FIGURE 13. — Montage pour la mesure à l'émission et de l'effet local à l'aide d'un oscillateur rythmique

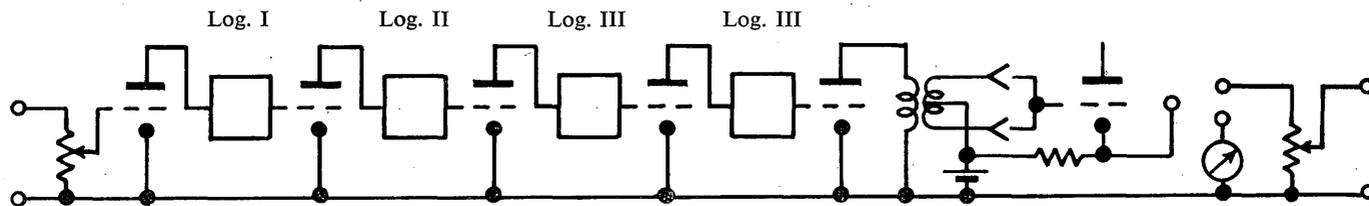


FIGURE 14. — Schéma de principe de l'amplificateur logarithmique

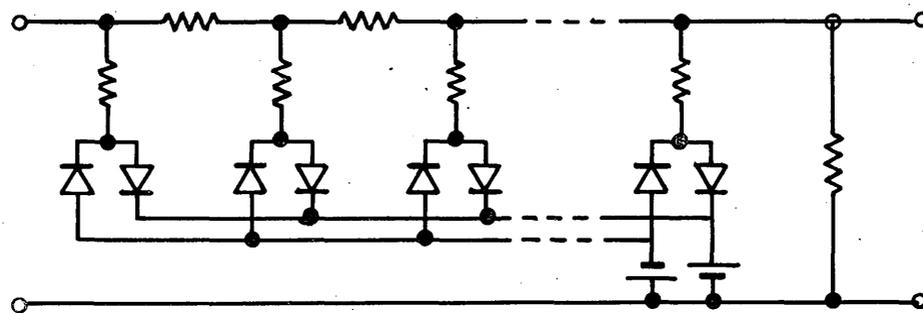


FIGURE 15. — Circuit de couplage (combinaison d'éléments linéaires)

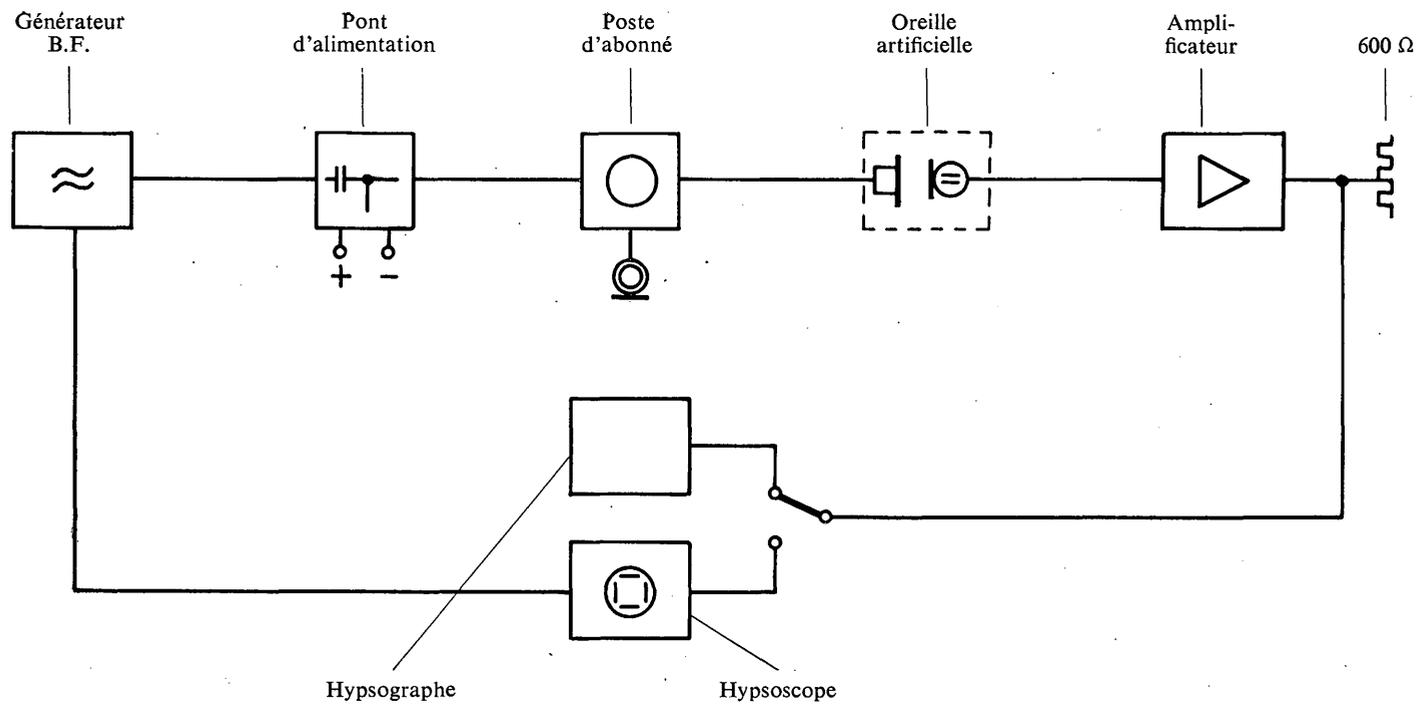


FIGURE 16. — Montage pour la mesure à la réception

La vitesse d'enregistrement d'un hypsographe n'étant plus suffisante, on fait apparaître la caractéristique de fréquence sur le tube à rayon cathodique d'un hypscope. Cet appareil possède dans l'axe des abscisses une échelle logarithmique des fréquences et dans l'axe des ordonnées une échelle des niveaux linéaire ou presque logarithmique.

Si l'on a besoin d'une échelle des niveaux absolument logarithmique, on insère avant l'hypscope un amplificateur logarithmique.

Contrairement aux amplificateurs logarithmiques usuels à temps de réglage, l'amplificateur utilisé donne un gain logarithmique instantané. A n'importe quel moment, la tension de sortie correspond au logarithme de la tension d'entrée. On peut ainsi étudier exactement les grandes et rapides variations qui se produisent lors des mesures de microphones par variations rythmiques des fréquences. Dans l'amplificateur en question, on obtient par approximation la fonction logarithmique au moyen de parties linéaires. Entre les divers étages d'amplification, on intercale des parties de réseau linéaires composées de résistances ohmiques et de diodes à cristal avec tensions d'amorçage déterminées. La figure 14 montre le diagramme d'ensemble de l'amplificateur et la figure 15 la connexion des organes de couplage.

Les caractéristiques électriques de l'amplificateur logarithmique sont :

Etendue de l'amplification sans potentiomètre d'entrée	50 db
Précision des indications logarithmiques	$\pm 0,3$ db
Potentiomètre d'entrée étalonné, à 10 étages de	5 db
Résistance d'entrée	100 k Ω
Tension avec potentiomètre d'entrée	0,7 mV à 70 V
Tension de sortie redressée pour oscillographe à rayon cathodique	0 à 5,5 V
Gamme de fréquences	30 à 50 000 Hz

4. Mesure de la caractéristique de fréquence de récepteurs téléphoniques

La mesure de la caractéristique de fréquence des récepteurs téléphoniques s'effectue selon le schéma représenté à la figure 16. L'écouteur est inséré pour la mesure dans le circuit normal d'une station téléphonique.

On utilise comme source de tension un oscillateur hétérodyne mû par un moteur. Suivant que l'on utilise l'hypsographe ou l'hypscope comme organe récepteur, la variation de la fréquence correspond aux recommandations du C.C.I.F. ou est sensiblement plus rapide (environ 1 balayage par seconde). L'oreille artificielle est décrite dans la section 2.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] H. WEBER. — Telephonometrie. *Bull. tech. P.T.T.*, 24 (1946), 1.
 [2] H. WEBER. — Beitrag zum Aufbau des orthotelephonischen Übertragungssystems. *Bull. techn. P.T.T.*, 24 (1946), 145.

ANNEXE 11

INDICATEUR DE VOLUME DU S.F.E.R.T. (VOLUME INDICATOR)

Un indicateur de volume *, mesurant le volume sur un circuit téléphonique (métallique ou radiotéléphonique) au cours d'une conversation suivie, doit satisfaire aux conditions suivantes :

Durée d'intégration. — Pour mesurer le volume en un point d'un circuit au cours d'une conversation suivie, on emploie un appareil dont la durée d'intégration (période transitoire à la fermeture du circuit) est de 200 millisecondes, ce qui correspond à la durée moyenne de l'émission d'un logatome.

On appelle « durée d'intégration » la période minimum pendant laquelle une tension alternative sinusoïdale doit être appliquée aux bornes de l'appareil pour que l'aiguille de l'instrument de mesure atteigne, à 0,2 néper ou 2 décibels près, la déviation que l'on aurait dans le cas où la même tension serait appliquée indéfiniment.

Durée de retour au zéro. — La durée de retour au zéro de l'aiguille de l'instrument de mesure doit être réglée à une valeur égale à la durée d'intégration, c'est-à-dire 200 millisecondes.

Graduation. — L'appareil doit être gradué en unités de transmission (népers ou décibels) et indiquer directement la valeur relative en unités de transmission du volume mesuré par rapport au « volume de référence » (voir ci-après), lequel est en relation bien définie avec le « volume normal pour les mesures téléphonométriques » qui a été défini dans le *Livre Vert*, tome IV, § 3.1.2.B.

Utilisation, étalonnage. — En ce qui concerne le mode d'utilisation d'un tel appareil pour la mesure du volume sur un circuit téléphonique, il faut :

- étalonner l'appareil ;
- procéder à la mesure du volume.

* L'indicateur de volume utilisé au Laboratoire du C.C.I.F. pour les mesures téléphonométriques, en association avec le Système Fondamental Européen de Référence pour la Transmission téléphonique (S.F.E.R.T.) est appelé par convention « Volume Indicator » dans les documents du C.C.I.F. ; il constitue une partie intégrante du S.F.E.R.T.

Pour l'étalonnage, on a marqué au préalable sur l'échelle de l'instrument de mesure un repère. On raccorde l'appareil à une source de courant alternatif à 800 ou 1000 Hz, réglée pour développer dans une résistance pure de 600 ohms une puissance égale à 6,0 milliwatts, et l'on place le « cadran gradué en unités de transmission » sur la position « 0 » correspondant au « volume de référence »*. Cela fait, l'étalonnage consiste à régler le « cadran d'étalonnage » de telle manière que l'aiguille de l'instrument de mesure atteigne le repère.

Pour procéder avec l'appareil ainsi réglé à une mesure du volume en un point d'un circuit, on branche l'appareil en dérivation sur ce circuit et l'on agit sur le « cadran gradué en unités de transmission » de manière que l'aiguille atteigne le repère une fois toutes les trois secondes environ. Le nombre d'unités lu alors sur le cadran gradué en unités de transmission mesure le volume au point considéré du circuit par rapport au « volume de référence ».

Pour faciliter les mesures, en plus de la graduation en unités de transmission du cadran, on peut avoir, de part et d'autre du repère, sur l'instrument de mesure, un certain nombre de divisions graduées en unités de transmission.

Dépassement balistique. — En ce qui concerne le dépassement balistique de l'instrument de mesure, l'aiguille ne doit pas dépasser de plus de 1 décibel la déviation finale lors de l'application d'une tension alternative sinusoïdale aux bornes de l'appareil.

Caractéristique en fonction de la fréquence. — La caractéristique, en fonction de la fréquence, de l'appareil doit être uniforme à $\pm 0,1$ néper ou 1 décibel près dans la bande des fréquences de 200 à 3500 Hz pour les appareils destinés à être utilisés sur les circuits téléphoniques commerciaux, et en outre à $\pm 0,2$ néper ou 2 décibels près dans les bandes supplémentaires de 30 à 200 Hz et de 3500 à 7000 Hz pour les appareils destinés à être utilisés sur les circuits pour transmissions radio-phoniques.

Loi d'addition. — L'appareil doit être établi de telle sorte que l'addition des diverses composantes de fréquence se fasse autant que possible suivant une loi quadratique.

Impédance. — L'impédance d'entrée de l'appareil ne doit pas être inférieure à 10 000 ohms. L'appareil doit être symétrique, c'est-à-dire que la déviation doit être la même, quelle que soit la polarité.

* Le « volume de référence » du « Volume Indicator » est donc le volume de sons vocaux qui correspond à la division zéro de l'indicateur de volume, laquelle division zéro a été obtenue, lors de l'étalonnage de l'indicateur de volume, en appliquant une tension à 800 ou 1 000 Hz correspondant à une puissance de 6,0 milliwatts dans une résistance pure de 600 ohms.

ANNEXE 12

VOLUMÈTRE DE L'A.R.A.E.N. OU VOLTMÈTRE VOCAL (SPEECH VOLTMETER)

Cet appareil satisfait à la spécification du C.C.I.F. (voir les spécifications figurant dans l'Annexe 11), sauf en ce qui concerne les durées d'intégration et de retour au zéro, et le point de référence utilisé pour l'étalonnage de l'appareil. La durée d'intégration et la durée de retour au zéro spécifiées par le C.C.I.F. sont de 200 millisecondes, tandis que pour le volumètre de l'A.R.A.E.N. ces durées sont approximativement égales à 100 millisecondes. L'expérience pratique acquise avec ce volumètre, ayant une durée d'intégration plus courte, a montré qu'il est tout à fait satisfaisant pour le contrôle du volume des sons vocaux dans les essais de netteté. S'il est nécessaire d'avoir la durée d'intégration plus longue spécifiée par le C.C.I.F., on peut l'obtenir en changeant les milliampèremètres utilisés avec cet appareil.

La spécification du volumètre de l'A.R.A.E.N. est la suivante :

Durée d'intégration : 100 millisecondes.

Durée de retour au zéro : 100 millisecondes.

Graduation : en décibels. L'échelle de l'instrument indicateur comprend des divisions de 1 décibel dans l'intervalle de -8 à $+3$ décibels par rapport au point de référence défini ci-après.

Etalonnage. — L'appareil est étalonné pour indiquer un nombre de décibels par rapport à une tension de 1 volt à 1000 Hz. Les commandes de sensibilité permettent d'obtenir une indication de 0 décibel sur l'instrument indicateur pour des niveaux de tension variant dans tout l'intervalle de -50 à $+30$ décibels par rapport à 1 volt à 1000 Hz.

Utilisation. a) *Pour mesurer le volume des sons vocaux au cours d'une conversation suivie.* — Le volumètre est relié au point où l'on veut mesurer le volume et l'on règle les commandes de sensibilité de telle sorte que l'aiguille de l'instrument indicateur atteigne le point de référence (graduation « zéro décibel » de l'échelle de cet instrument) approximativement une fois toutes les trois secondes.

b) *Pour déterminer la puissance-vocale de l'opérateur qui parle dans les essais de netteté.* — Le volumètre est relié à l'A.R.A.E.N. en un point où le volume des sons vocaux doit correspondre à une tension de 1 volt. On règle à 0 les commandes de sensibilité de sorte que l'appareil est réglé de façon à indiquer le volume de référence. L'opérateur qui parle énonce alors les logatomes (insérés dans une phrase appropriée) d'une façon telle que chacune des syllabes préliminaires de la phrase de liaison fasse dévier l'aiguille de l'instrument indicateur en l'amenant à la position de référence (0 db sur l'échelle graduée de cet instrument).

Dépassement balistique de l'instrument indicateur. — Lors de l'application d'une tension sinusoïdale, l'aiguille ne doit pas dépasser de plus de 0,1 db sa déviation finale.

Caractéristique de fonctionnement en fonction de la fréquence. — La sensibilité de l'appareil pour des ondes sinusoïdales à une fréquence quelconque comprise entre 40 Hz et 12 000 Hz est la même qu'à 1000 Hz avec les tolérances suivantes :

de 40 Hz à 12 000 Hz	± 2 db
de 150 Hz à 6 000 Hz	$\pm 0,5$ db

Loi d'addition. — La loi d'addition des composantes à diverses fréquences est quadratique dans un intervalle de ± 8 db par rapport au point de référence (0 db) de l'instrument indicateur.

Impédance. — L'impédance d'entrée de l'appareil est supérieure à 10 000 ohms dans toute la bande de fréquences utile.

VOLUMÈTRE NORMALISÉ AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE, APPELÉ V.U.MÈTRE

(Traduction de la norme C.16.5.1942 « American recommended practice for volume measurements of electrical speech and program waves », adoptée le 6 novembre 1942 par l'American Standards Association)

Introduction

La radiodiffusion, dont l'exigence fondamentale est la transmission de la parole et de la musique, à la fois par circuits métalliques et par radioélectricité, a conduit à envisager le problème de la mesure des ondes électriques utilisées pour cette transmission. Les mesures faites par différents organismes de radiodiffusion, avec des appareils de construction variée, ont montré des discordances sensibles.

L'appareil décrit dans la norme ci-après a été mis au point particulièrement pour la radiodiffusion et pour les circuits téléphoniques qui assurent le service d'interconnexion entre les stations émettrices de radiodiffusion. Il donne une corrélation satisfaisante entre les mesures faites dans des conditions normales de fonctionnement et présente une caractéristique dynamique qui permet une lecture de la déviation de l'aiguille de l'instrument de mesure plus rapide et plus précise que dans le cas des types antérieurs de volumètres. La norme ci-après concerne l'indicateur de volume et son mode d'emploi.

Généralités

La présente norme s'applique à un appareil de mesure de la grandeur des ondes électriques avec fréquences vocales, telles que celles qui correspondent à la transmission de la parole et de la musique.

La mesure des ondes complexes et non périodiques que l'on rencontre dans les télécommunications ne peut pas s'exprimer d'une façon simple en fonction des notions habituelles de courant électrique, de tension électrique ou de puissance. Le concept de « volume » fournit une méthode pratique d'une grande utilité à l'ingénieur des télécommunications pour assigner une valeur numérique à la grandeur des ondes électriques correspondant à la transmission de paroles et de musique.

On lit les valeurs du volume en notant les déviations extrêmes de l'aiguille d'un appareil appelé « volumètre ». Puisque l'indication fournie par l'instrument de mesure de cet appareil, sous l'action d'ondes rapidement variables, dépend

beaucoup de la vitesse du déplacement de sa partie mobile, de son amortissement, et d'autres caractéristiques, une norme applicable aux mesures de volume doit comprendre une spécification de ces caractéristiques.

Il a été d'usage jusqu'ici d'exprimer les valeurs mesurées du volume sous forme d'un nombre de décibels au-dessus ou au-dessous d'un « niveau de référence », choisi parmi un certain nombre de « niveaux de référence » variés et arbitraires. La présente norme emploie un terme nouveau, « unités de volume » (volume units, en abrégé v.u.), pour exprimer le volume sous forme d'un nombre de décibels au-dessus ou au-dessous d'un niveau de référence particulier, dont la spécification fait partie de la norme.

Définitions

Les définitions suivantes concernent l'emploi des termes ci-après, en tant qu'ils s'appliquent spécifiquement aux grandeurs et aux appareils employés pour les mesures de volume.

Volume. — Ce terme est employé pour désigner la grandeur des ondes électriques correspondant à la transmission de paroles et de musique. C'est l'indication d'un appareil appelé « volumètre américain », défini ci-après, qui a une caractéristique dynamique et d'autres caractéristiques spécifiées, et qui est étalonné et sur lequel on fait les lectures d'une manière prescrite.

Volumètre. — C'est l'appareil employé pour indiquer le volume. Un volumètre conforme à la norme américaine doit avoir les caractéristiques indiquées au paragraphe ci-après intitulé « Spécification du volumètre américain ».

« *Unité de volume* » (v.u., généralement écrit en lettres minuscules). — On emploie cette expression pour désigner la valeur numérique du volume. Le volume exprimé en « unités de volume », est numériquement égal à la grandeur relative des ondes considérées, exprimée en décibels au-dessus ou au-dessous du « volume de référence américain* », défini ci-après.

On ne devrait pas employer des mots « unité de volume » pour exprimer des résultats de mesures d'ondes complexes faites avec des appareils ayant des caractéristiques différentes de celles du volumètre américain normalisé.

Volume de référence américain. — C'est la base du système de mesure du volume. Le « volume de référence américain » est la grandeur des ondes électriques, correspondant à la transmission de paroles ou de musique, qui donne une lecture de zéro unité de volume sur un volumètre dont les caractéristiques et la méthode de lecture sont décrites dans la présente norme, et qui est étalonné de façon à donner la lecture zéro unité de volume pour une onde sinusoïdale en régime permanent, de fréquence 1 000 Hz, dont la puissance est de 1 milliwatt dans 660 ohms*.

Déviatiou de référence. — C'est la déviation de l'aiguille de l'instrument de mesure, correspondant au point de l'échelle graduée de cet instrument auquel ou près duquel on a normalement l'intention de faire les lectures.

* On remarquera que le « volume de référence américain » diffère du « volume de référence » défini par le C.C.I.F. (voir l'Annexe 11 « Indicateur de volume du S.F.E.R.T. »).

Spécification du volumètre américain

On mesure le volume au moyen d'un volumètre (indicateur de volume). Cet appareil doit être conforme aux spécifications suivantes et doit être employé suivant la méthode décrite ci-après.

Parties constitutives. — Un volumètre comprend au moins deux parties :

- a) un instrument de mesure ;
- b) un affaiblisseur.

Caractéristique dynamique. — Si l'on applique brusquement une tension sinusoïdale de fréquence comprise entre 35 et 10 000 Hz, ayant une amplitude telle qu'en régime permanent elle produise la « déviation de référence » définie ci-dessus, l'aiguille de l'instrument de mesure devra atteindre la graduation correspondant à 99 % de la « déviation de référence » en 0,3 seconde $\pm 10\%$, et devra ensuite dépasser la « déviation de référence » d'au moins 1 % et d'au plus 1,5 %. Le temps nécessaire pour que l'aiguille de l'instrument de mesure atteigne sa position de repos, quand on supprime la tension sinusoïdale, ne devra pas être très différent de cette « durée de fonctionnement ».

Caractéristique de fonctionnement aux diverses fréquences. — La sensibilité du volumètre ne devra pas s'écarter de la sensibilité à 1 000 Hz de plus que 0,2 décibel entre 35 et 10 000 Hz, ni de plus que 0,5 décibel entre 25 et 16 000 Hz.

Fonctionnement sous l'action d'ondes complexes. — Le fonctionnement sous l'action d'ondes complexes, d'amplitude telle qu'elles produisent la « déviation de référence » quand on effectue la lecture comme il est indiqué ci-après, doit être équivalent au fonctionnement de l'ensemble d'un instrument de mesure en courant continu et d'un redresseur, dont la courbe caractéristique a pour exposant $1,2 \pm 0,2$.

Symétrie. — L'indication de l'instrument de mesure doit être indépendante de la polarité avec laquelle les ondes sont appliquées au volumètre, quand on mesure des ondes de forme dyssymétrique. On peut obtenir de telles caractéristiques en employant un instrument de mesure en courant continu, associé avec un redresseur qui redresse les deux alternances du courant.

Graduation de l'échelle de l'instrument de mesure. — La graduation correspondant à la déviation de référence définie ci-dessus devra être indiquée nettement, d'une façon appropriée. Le reste de l'échelle devra être gradué en « unités de volume » au-dessus et au-dessous de la déviation de référence (voir aussi l'alinéa « échelle graduée » du paragraphe suivant).

Affaiblisseur. — L'affaiblisseur est normalement d'un type réglable et son cadran de réglage devra être gradué en « unités de volume ».

Étalonnage. — L'instrument de mesure d'un volumètre étalonné correctement donnera la déviation de référence, avec l'affaiblisseur réglé à zéro quand on relie le volumètre à un générateur de force électromotrice sinusoïdale réglé pour développer une puissance de 1 milliwatt dans une résistance de 600 ohms, ou avec l'affaiblisseur réglé à n « unités de volume » quand la puissance d'étalonnage correspond à n décibels au-dessus de 1 milliwatt.

Méthode de lecture du volumètre. — L'indication de l'instrument de mesure est déterminée par les déviations maxima qui se produisent au cours d'une durée d'environ une minute pour les transmissions radiophoniques, ou d'une durée plus courte (par exemple 5 à 10 secondes) pour les conversations téléphoniques, en laissant de côté au plus une ou deux déviations occasionnelles d'amplitude inhabituelle.

D'habitude le volumètre est branché en dérivation sur le circuit en un point où l'impédance est de 600 ohms, et on règle l'affaiblisseur jusqu'à ce que les déviations de l'aiguille de l'instrument de mesure, lues comme il est indiqué ci-dessus, atteignent juste le point de l'échelle graduée correspondant à la déviation de référence. Le volume, en « unités de volume », est donné par la graduation du cadran de réglage de l'affaiblisseur correspondant au réglage ainsi obtenu. Si pour une raison quelconque les déviations de l'aiguille atteignent un autre point de l'échelle graduée que celui qui correspond à la déviation de référence, le volume est donné par la somme algébrique de la valeur à laquelle est réglé l'affaiblisseur et de la déviation réelle de l'aiguille, lue sur l'échelle graduée de l'instrument de mesure.

Quand l'impédance du circuit au point où l'instrument est branché diffère de 600 ohms, on doit corriger le volume indiqué, pour tenir compte de cette différence d'impédance, au moyen de la relation suivante :

La correction (à ajouter) est, en « unités de volume »,

$$10 \log_{10} \frac{600}{Z},$$

où Z est la valeur exacte de l'impédance.

Caractéristiques de construction recommandables pour le volumètre

Les points suivants ne sont pas des spécifications essentielles faisant partie de la présente norme, mais constituent des caractéristiques de construction recommandables.

Impédance. — Le volumètre est employé normalement en dérivation sur le circuit avec lequel on l'utilise et, quand on l'emploie ainsi, son impédance doit être assez élevée pour ne pas modifier exagérément les ondes transmises sur ce circuit. Il est recommandable de rendre l'impédance au moins égale à 7 500 ohms, pour l'emploi sur un circuit d'impédance égale à 600 ohms.

Distorsion harmonique. — Quand le volumètre est relié à un circuit simple, purement résistif, à travers lequel on transmet une onde sinusoïdale, de fréquence comprise entre 25 et 8 000 Hz, la somme quadratique des harmoniques produits ne devrait pas dépasser 0,2 pour cent.

Aptitude à supporter une surcharge. — A cause des grandes variations d'amplitude que ce volumètre peut rencontrer, il devrait avoir une aptitude à supporter les surcharges plus grande que celle qui est exigée des appareils de mesure courants. Une spécification souvent employée demande que le volumètre soit capable de supporter, sans dommage et sans altération de l'étalonnage, une surcharge momentanée égale à dix fois la tension correspondant à la déviation de référence et une surcharge continue égale à cinq fois cette tension.

Echelle graduée. — La graduation correspondant à la déviation de référence devrait se trouver entre les $\frac{2}{3}$ et les $\frac{3}{4}$ du développement total de l'échelle. En plus de l'échelle graduée en « unités de volume », il est recommandable que l'instrument de mesure comporte aussi une échelle graduée de 0 à 100, proportionnelle à la tension, le point 100 coïncidant avec le point qui correspond à la déviation de référence. Les figures 1 et 2 donnent des exemples des deux types d'échelles généralement employés.

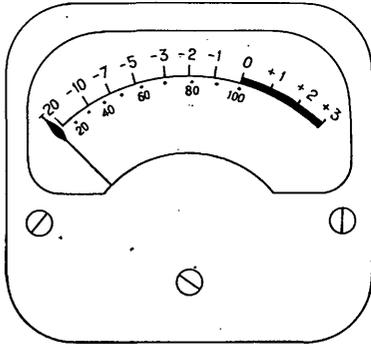


FIGURE 1

Cette échelle met en évidence la graduation en « unités de volume » (v.u.).

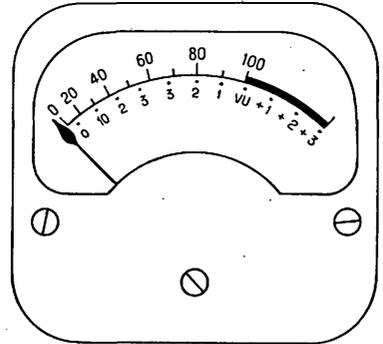


FIGURE 2

Cette échelle met en évidence la graduation de 0 à 100 et est utile pour indiquer le pourcentage d'utilisation des circuits et des équipements. Elle est employée en général par les principaux organismes de radiodiffusion.

ANNEXE 14

MODULOMÈTRE UTILISÉ PAR LA BRITISH BROADCASTING CORPORATION

Description

Le modulomètre utilisé par la British Broadcasting Corporation est un appareil destiné à enregistrer des amplitudes de crête atteintes par des signaux de forme d'onde complexe qui se rencontrent dans les transmissions radiophoniques de parole et de musique. Il comprend un instrument indicateur du type à aiguille de 3 pouces $\frac{1}{4}$ de diamètre (environ 8,3 cm) avec une échelle simple tracée en blanc sur fond noir. Cette échelle est logarithmique, couvrant un intervalle de 26 décibels en six échelons et la durée d'enregistrement est relativement brève tandis que la durée de retour au zéro est très longue.

On a choisi ce type d'instrument indicateur pour aider l'œil à faire très rapidement des lectures rapides et précises et l'échelle simple tracée en blanc sur fond noir tend à diminuer la fatigue de l'œil. Bien que cet instrument soit essentiellement un voltmètre de crête, la vitesse d'enregistrement a été délibérément limitée à une valeur inférieure à celle que l'on pourrait obtenir facilement, pour la raison suivante: L'aptitude de l'oreille à apprécier les distorsions dues à la surcharge dans un système pour transmissions radiophoniques dépend de la durée des amplitudes de crête considérées; par conséquent, il ne serait pas seulement inutile d'interdire à des crêtes de très courte durée d'atteindre une amplitude inférieure au point de surcharge, mais une telle pratique aurait pour effet d'abaisser d'une façon générale le taux de modulation au-dessous de la valeur dictée par l'emploi économique de ce système.

On a rendu assez longue la durée de retour au zéro de cet instrument afin de permettre à l'œil d'observer sans fatigue l'indication de la valeur de crête atteinte; cependant, il est assez rapide pour permettre d'enregistrer avec précision des crêtes subséquentes ayant une valeur inférieure.

Réalisation des circuits

L'instrument indicateur est actionné par un amplificateur comprenant un étage séparateur à haute impédance d'entrée, un redresseur à diode redressant les deux alternances de crête et une pentode à pente variable qui fournit les indications suivant une échelle logarithmique.

Les constantes de temps du redresseur de crête sont respectivement de 2,5 millisecondes à la charge et de 1 seconde à la décharge, afin de fournir les caractéristiques spécifiées ci-après et l'on peut régler d'une façon correcte la loi d'indication de l'échelle en faisant varier les potentiels des électrodes de la pentode à pente variable.

L'instrument indicateur lui-même est un instrument à fonctionnement rapide et à faible inertie dont la position de repos correspond à l'extrémité de droite de l'échelle ; ceci est dû à ce que l'absence de signal à la sortie de la pentode à pente variable correspond à la déviation maximum de l'échelle et la tension à la sortie de cette pentode fait dévier l'aiguille vers la gauche. L'échelle comprend 7 graduations numérotées de 1 à 7, chaque intervalle entre deux graduations représentant 4 db, à l'exception de l'intervalle inférieur qui représente 6 db.

Caractéristiques spécifiées et mesure de ces caractéristiques

La durée d'établissement de l'appareil est telle que, pour une impulsion carrée durant 4 ms, on enregistre 80 % de sa valeur de crête tandis que la durée de retour au zéro est telle que l'aiguille retombe de la graduation 7 à 1 (c'est-à-dire un écart de 26 db) en $3,0 \pm 0,5$ seconde. On vérifie la durée d'établissement au moyen de l'impulsion de tension qui apparaît aux bornes d'une résistance de 600 ohms quand on décharge à travers cette résistance un condensateur de 5 microfarads. Le condensateur est chargé par la tension de crête d'une onde sinusoïdale en régime permanent qui ferait dévier l'instrument indicateur jusqu'à la graduation 6 et cette impulsion doit faire dévier l'instrument indicateur jusqu'à la graduation 4 à ± 1 db près.

L'instrument indicateur lui-même doit dévier jusqu'à 97 % du maximum de l'échelle quand un condensateur de 10 microfarads est chargé, en série avec une résistance de 100 000 ohms et avec cet instrument, par une tension qui, si le condensateur était court-circuité, produirait une déviation égale au maximum de l'échelle. En outre, quand cette tension est appliquée brusquement, le condensateur étant court-circuité, l'aiguille de l'instrument indicateur ne doit pas présenter un dépassement balistique de plus de 5 % par rapport au maximum de l'échelle.

Emploi

Le modulomètre sert généralement à surveiller un programme dont le volume serait de « zéro » dans un circuit de 600 ohms. Ceci implique qu'une onde sinusoïdale en régime permanent de 0,775 volt doit correspondre à un taux de modulation de 40 % pour le système de transmission et que l'on peut régler le modulomètre de façon que son indication corresponde à la graduation 4 dans ces conditions. Par conséquent, la graduation 6 correspond à une modulation de 100 %, de sorte que l'on voit immédiatement des crêtes ayant un niveau inférieur d'au moins 20 db à ce niveau et que des surcharges de 4 db sont mesurables.

ANNEXE 15

INDICATEUR D'AMPLITUDE MAXIMUM DU TYPE U 21 UTILISÉ DANS LA RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE D'ALLEMAGNE

Application

L'indicateur d'amplitude maximum décrit ci-dessous est approprié à la surveillance de la tension de crête au cours de la transmission d'un programme radiophonique. C'est pourquoi il est à utiliser partout où une surcharge des équipements de transmission doit être évitée et où la dynamique de la transmission est à contrôler, par exemple dans les studios, à l'origine et à l'extrémité d'un circuit de transmission radiophonique, ou à certains points intermédiaires et à l'entrée d'un émetteur.

Caractéristiques générales

En vue de pouvoir suivre l'amplitude de la tension augmentant rapidement au cours d'une transmission radiophonique, l'indicateur d'amplitude maximum est doté d'une durée d'intégration très courte. La durée de retour de l'aiguille est relativement grande, afin que des pointes de tension très brèves puissent être observées facilement. L'instrument indicateur, muni d'un spot lumineux, a par conséquent une courte durée d'établissement. Plusieurs instruments indicateurs secondaires et un enregistreur peuvent être raccordés. L'échelle est déformée approximativement de façon logarithmique, et étalonnée en népers ou en décibels. Une échelle additionnelle est étalonnée en pour-cent (100 % correspondent à la tension utile la plus élevée). La bande de fréquences est un peu plus large que la bande recommandée par le C.C.I.F. pour les circuits normaux pour transmissions radiophoniques. L'impédance d'entrée, par rapport à 600 ohms, est si élevée que l'erreur provenant de l'application de l'indicateur d'amplitude maximum à un circuit peut être négligée.

Valeurs spécifiées

Bande de fréquences	30 à 15 000 Hz
Impédance d'entrée	supérieure à 30 000 ohms
Gamme d'indication de la dynamique	1 : 300
correspondant à	0,3 à 100 %
(une gamme additionnelle de 100 % à 180 % servant de gamme de surcharge, est repérée en rouge)	

Tension d'entrée pour 100% (correspondant à 8 ou 32 milliwatts dans une résistance de 600 ohms)	2,2 ou 4,4 volts efficaces,* commutable
Variation de l'indication en fonction de la fréquence, à 100%	inférieure à $\pm 10\%$ par rapport à la valeur mesurée à 800 Hz.
Caractéristique du redresseur	linéaire
Durée d'intégration en cas d'application brusque d'une ten- sion sinusoïdale correspondant à 100%	
pour atteindre 80%	5 millisecondes environ
pour atteindre 90%	10 millisecondes environ
Durée d'établissement pour atteindre 90%	80 millisecondes environ
Durée de retour de 100% à 10% en cas de déconnexion brusque d'une tension sinusoïdale	1 ou 2 secondes environ, commutable
Dépassement balistique de l'aiguille	10% au maximum
Alimentation	Secteur 40 à 60 Hz, 110 ou 220 volts, 55 watts environ

* Quelques Administrations ont fixé d'autres valeurs pour la tension aux points de contrôle ; en Allemagne il y a d'ailleurs des indicateurs d'amplitude maximum se référant par exemple à des tensions d'entrée de 1,55 ou 3,1 volts.

ANNEXE 16

ESSAIS COMPARATIFS DE DIVERS TYPES DE VOLUMÈTRES, EFFECTUÉS PAR L'ADMINISTRATION BRITANNIQUE DES TÉLÉPHONES

L'Administration britannique a fait quelques mesures en comparant les indications de quelques volumètres de type différent, employés comme « voltmètres vocaux » (speech voltmeters), pour les mêmes passages de conversation enregistrée.

On a construit dans ce but un appareil appelé le « voltmètre vocal du type 4 » (S.V. 4) dans le but d'éliminer l'évaluation subjective sur la lecture d'un appareil dont l'aiguille se déplace continuellement. On a obtenu ce résultat en imitant les propriétés mécaniques des parties mobiles d'un « voltmètre vocal » au moyen d'un circuit électrique équivalent tel que la valeur instantanée de la tension (redressée) soit proportionnelle à la déviation instantanée correspondante de l'aiguille de l'instrument indicateur qui est remplacé par le circuit électrique.

On a ajouté à cet appareil un compteur électronique pour enregistrer le nombre de fois où la tension (redressée) dépasse chacune des 10 valeurs fixées à l'avance. On peut déduire de ces résultats une spécification, arbitraire mais précise, du « niveau correspondant au volume des sons vocaux ». La définition employée pour le but poursuivi dans ces mesures était la suivante :

Le niveau auquel se produit le nombre maximum de « passages par ce niveau » (level crossings) correspond approximativement à la valeur efficace sur une longue durée, mais il est mal défini. En revanche, le niveau, plus élevé que le précédent, pour lequel on a la moitié du nombre maximum de passages, est bien défini. On considère comme indication du voltmètre vocal un niveau supérieur de 3 db à ce dernier. On était arrivé précédemment à ce nombre de 3 db empiriquement, par comparaison avec les lectures faites par une équipe d'observateurs expérimentés sur un « voltmètre vocal » du type 3 de l'Administration britannique (identique au volumètre de l'A.R.A.E.N.).

Le « voltmètre vocal du type 4 » a été réalisé de telle sorte qu'on puisse lui donner des caractéristiques différentes et connues en ce qui concerne :

- a) La caractéristique du redresseur (loi d'addition des composantes à diverses fréquences),
- b) La durée d'intégration (ou la durée d'établissement),
- c) Le dépassement balistique.

TABLEAU I

Indications relatives de divers « voltmètres vocaux »

Symbole	Type d'appareil ou de mesure	Caractéristique du redresseur (note 1)	Durée d'établissement pour 99% de la déciation finale (microsecondes)	Durée d'intégration (millisecondes)	Dépassement balistique	Indication relative par rapport au volumètre de l'A.R.A.E.N. (db)
A	« Voltmètre vocal » britannique du type 3 (S.V.3) identique au volumètre de l'A.R.A.E.N.	2	230	110 (approx.)	2,5	0
B	Voltmètre vocal du type 3, la caractéristique du redresseur étant seule modifiée.	1	230	110 (approx.)	2,5	-2,8
C	v.u.mètre (Etats-Unis d'Amérique).	1,0	300	120 (approx.)	1,0 à 1,5 (note 2)	-3,5
D	v.u.mètre.	1,4	300	120 (approx.)	1,0 à 1,5 (note 2)	-2,2
E	Volumètre du type «Volume indicator» S.F.E.R.T.-C.C.I.F.	2	650 (approx.)	200 *	0	-1,4
F	Volumètre du type «Volume indicator» S.F.E.R.T.-C.C.I.F.	2	410 (approx.)	200 *	5	-2,4
G	Niveau dépassé pendant 1% du temps, au cours d'une émission vocale continue.	—	—	—	—	+5,8
H	Indicateur de crête pour transmissions radiophoniques utilisé par la British Broadcasting Corporation (B.B.C. Peak Programme Meter).	1	—	—	—	+6,8
J	Instrument de mesure thermique, indication au cours de longues émissions vocales.	2	12.400 (approx.)	2700	0	-4,5
K	Valeur efficace sur une longue durée (émission vocale continue).	—	—	—	—	-6,9

Note 1. — Le nombre qui figure dans cette colonne est l'exposant n dans la formule $V_{\text{(sortie)}} = V_{\text{(entrée)}}^n$ applicable pour chaque demi-alternance.

Note 2. — On n'a remarqué aucune différence appréciable dans cet intervalle.

* Note du Secrétariat du C.C.I.F. — Pour ce type de volumètre, la « durée d'intégration » a été définie par le C.C.I.F. comme la « période minimum pendant laquelle une tension alternative sinusoïdale doit être appliquée aux bornes de l'appareil pour que l'aiguille de l'instrument de mesure atteigne, à 0,2 néper ou 2 db près, la déviation que l'on aurait dans le cas où la même tension serait appliquée indéfiniment ». Un écart logarithmique de 2 db correspond d'ailleurs à un pourcentage de 79,5% et un écart de 0,2 néper à un pourcentage de 82%.

Les résultats obtenus par comparaison des indications de divers types de « voltmètres vocaux », pour des courants vocaux provenant d'un microphone de haute qualité, figurent dans le tableau I sous forme d'indication relative par rapport à celle du voltmètre vocal du type 3. Sauf pour les appareils H, J et K tous les résultats concernent des mesures effectuées avec un voltmètre vocal du type 4, réglé pour avoir les caractéristiques indiquées dans ce tableau. On a aussi fait quelques autres observations sur les valeurs relatives des lectures faites par des observateurs sur les appareils mêmes des types indiqués. Les résultats sont en accord avec ceux du tableau I à moins de ± 1 db près environ, ce qui est inférieur à la variation probable sur la lecture d'un niveau par observation d'une aiguille qui se déplace continuellement.

Le tableau II montre l'effet produit quand on change la caractéristique du redresseur d'un voltmètre vocal, semblable à tous les autres points de vue à un voltmètre vocal du type 3, pour des sons vocaux provenant soit d'un microphone de haute qualité, soit d'un appareil téléphonique commercial britannique avec une capsule microphonique n° 13. Les résultats sont donnés en valeur relative, rapportées aux résultats correspondant à une loi quadratique d'addition ($n = 2$).

TABLEAU II

Effet de la caractéristique du redresseur (en valeur relative par rapport aux résultats obtenus avec un redresseur à loi quadratique d'addition)

	Caractéristique du redresseur, $V_{\text{(sortie)}} = V_{\text{(entrée)}}^n$	
	$n = 1,5$	$n = 1,0$
Appareil téléphonique commercial	pas de mesure	-3,6 db
Microphone de haute qualité	-1,1 db	-2,8 db

Le tableau III montre l'influence du dépassement balistique et de la « durée d'établissement » (définie ici comme la durée qui s'écoule entre l'application d'une tension permanente à l'appareil de mesure et une déviation égale à 99 % de la déviation finale), les résultats étant exprimés en valeur relative par rapport à ceux qui correspondent à un dépassement balistique nul et à une durée d'établissement de 1,0 seconde.

TABLEAU III

Durée d'établissement (seconde)	Dépassement balistique (%)		
	0	1	5
0,25	+2,6 db	+2,6 db	-2,4 db
0,5	+2,0	+0,3	+0,5
1,0	0	-0,8	-1,2

On est arrivé aux conclusions générales suivantes : pour des voltmètres vocaux, fonctionnant dans les intervalles de variation des valeurs des paramètres auxquels s'étendaient les mesures ci-dessus :

1. Les effets dus aux variations de la caractéristique du redresseur sont sensiblement indépendants des caractéristiques dynamiques de l'instrument indicateur, mais ils dépendent du type de système téléphonique (c'est-à-dire système commercial ou système de haute qualité).

2. Les effets dus aux variations de la durée d'établissement et du dépassement balistique dépendent l'un de l'autre, mais sont indépendants du type de système téléphonique (commercial ou de haute qualité).

3. La variation du dépassement balistique dans l'intervalle de 1 à 5 % produit un effet négligeable.

ANNEXE 17

APPAREIL NORMALISÉ AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE POUR LA MESURE OBJECTIVE DES BRUITS DE SALLE

(Traduction de la norme Z.24.3.1944 « American Standard-Sound level meters for measurement of noise and other sounds », adoptée le 28 juillet 1944 par l'American Standards Association)

Domaine d'application et but de la présente norme

Domaine d'application. — Le but d'une norme pour les sonomètres est d'établir une situation telle que, si l'on mesure un bruit donné avec n'importe quel sonomètre ayant les caractéristiques nominales définies par cette norme, le résultat soit le même que celui qu'on obtiendrait avec n'importe quel autre sonomètre * construit de façon semblable, et représente avec une bonne approximation l'intensité acoustique subjective qu'on obtiendrait par la méthode de comparaison auditive, plus précise et demandant plus de soin, décrite dans la Norme américaine Z.24.2.1942 pour les mesures de bruit, ou dans la révision la plus récente de cette norme.

But. — Actuellement il n'est pas pratique de construire des sonomètres qui aient exactement les caractéristiques nominales définies ci-après. Par suite, on a spécifié certaines tolérances sur les caractéristiques de fonctionnement du sonomètre aux diverses fréquences. Dans beaucoup de cas on peut s'attendre à des différences, qui ont de l'importance en pratique, entre les résultats obtenus avec des sonomètres différents, à moins que l'on ne fasse des corrections qui tiennent compte des écarts que présentent les caractéristiques de chaque sonomètre par rapport aux caractéristiques nominales.

En raison de la complexité du mécanisme de l'audition humaine, qu'il n'est pas possible actuellement d'imiter d'une façon adéquate dans un sonomètre, on s'attend à ce que, dans beaucoup de cas, le sonomètre ne fournisse pas avec une bonne approximation les valeurs d'intensité acoustique subjective, bien qu'il puisse fournir avec une meilleure approximation les différences d'intensités acoustiques subjectives. Les discordances que cela suppose pourront être déterminées d'une façon plus satisfaisante en comparant les indications du sonomètre

* Le terme « sonomètre », qui est considéré comme impropre, a été conservé dans la présente Annexe comme traduction conventionnelle de « sound level meter ».

aux intensités acoustiques subjectives déterminées par comparaison auditive, une fois qu'on aura atteint un certain degré d'uniformité dans les sonomètres utilisés par les auteurs de recherches dans le domaine des mesures acoustiques. Par suite, il est recommandé d'adopter les normes pour les sonomètres exposées dans le présent texte, jusqu'à ce que des travaux et des expériences ultérieurs aient révélé qu'une révision de ces normes procurerait des avantages.

Puisque les microphones utilisés actuellement dans les sonomètres ont des propriétés directives, il sera ordinairement désirable, quand on fait des mesures de bruits, de prendre la moyenne des résultats déterminés en orientant le microphone dans plusieurs directions différentes, comprenant en particulier les directions d'où le bruit semble provenir. Si cela est fait, et si les normes indiquées ci-après sont satisfaites, les différences entre les résultats obtenus avec des sonomètres de constructions différentes seront réduites.

On reconnaît que, dans des cas particuliers, certaines caractéristiques non conformes à la présente norme peuvent être désirables et l'on n'a pas l'intention, en établissant ces normes, d'interdire l'emploi de caractéristiques particulières pour des problèmes particuliers. On croit, toutefois, que ces normes aideront à établir l'uniformité des mesures de divers types de bruits, faites au sonomètre, et auront ainsi une valeur dans le domaine des mesures de bruits.

Définitions

Echelle. — Un sonomètre doit avoir une échelle graduée en décibels. La grandeur mesurée par un sonomètre est un niveau de pression acoustique pondérée et, sera appelée « intensité acoustique subjective mesurée au sonomètre » (sound level) ; par exemple, une lecture de 60 décibels faite sur le sonomètre sera appelée « intensité acoustique subjective de 60 décibels mesurée au sonomètre » (60 decibel sound level).

Caractéristiques de fonctionnement aux diverses fréquences. — La caractéristique de fonctionnement d'un sonomètre aux diverses fréquences dans le cas d'ondes progressives libres doit être celle représentée sur la figure 1. Les courbes A et B sont des courbes d'égale intensité acoustique subjective correspondant à des niveaux absolus d'intensité acoustique à 1 000 Hz de 40 et 70 décibels respectivement, chacune étant modifiée pour tenir compte des différences entre les seuils d'audibilité individuel et normal dans un champ acoustique libre *. La courbe C est une caractéristique de fonctionnement uniforme aux diverses fréquences.

Détermination d'« intensités acoustiques subjectives mesurées au sonomètre ». — Lorsqu'on cite les résultats de mesures au sonomètre de l'intensité acoustique subjective, la caractéristique de fonctionnement aux diverses fréquences employée devrait toujours être indiquée.

Les tolérances admises de part et d'autre des caractéristiques spécifiées de fonctionnement aux diverses fréquences sont indiquées par les courbes en pointillé de la figure 1 et par le tableau II de l'Appendice D ci-joint. Afin de déter-

* Voir la norme américaine « American Standard for noise measurement Z.24.2.1942 », ou la révision la plus récente de cette norme.

Voir également : On minimum audible sound fields, par L. S. Sivian et S. D. White, *Journal of the Acoustical Society of America*, volume IV, n° 4, avril 1933.

miner si les tolérances sont dépassées ou non, on doit suivre la manière de procéder décrite dans l'Appendice D ci-joint. La caractéristique de fonctionnement d'un sonomètre aux diverses fréquences doit être comprise entre les tolérances pour n'importe quelle position du cadran de réglage du gain avec laquelle la caractéristique de fonctionnement considérée doit être utilisée et dans tout l'intervalle de variation de la température de fonctionnement et de la température ambiante dans lequel le sonomètre doit être utilisé.

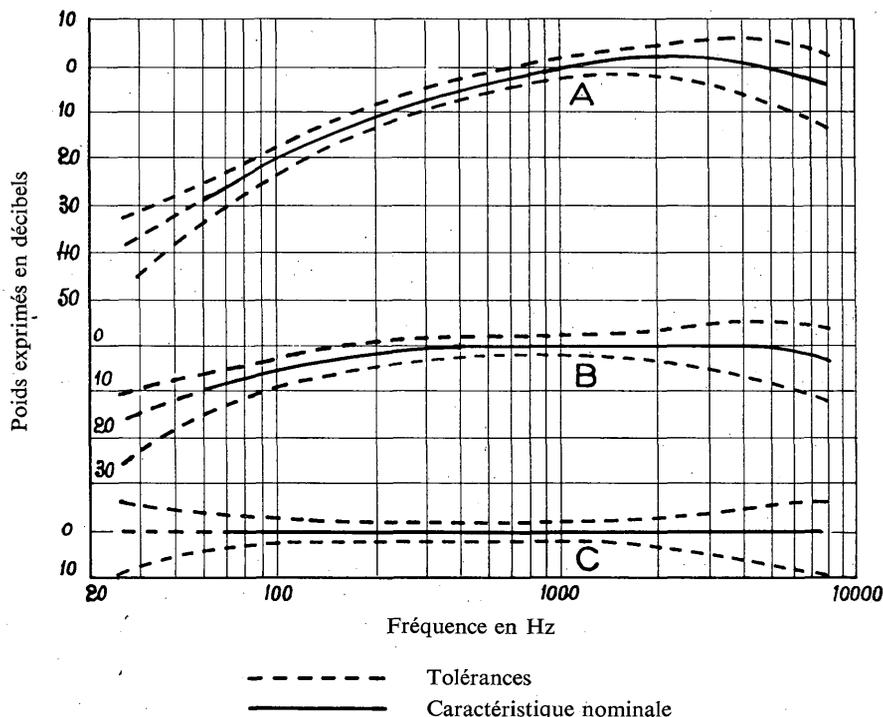


FIGURE 1. — Caractéristiques de fonctionnement aux diverses fréquences de l'ensemble d'un sonomètre, dans le champ acoustique libre, et tolérances admissibles

Fonctionnement du sonomètre dans le champ acoustique libre. — L'indication du sonomètre pour une fréquence donnée, dans un champ acoustique libre, doit être la moyenne des lectures faites pour cette fréquence avec des ondes progressives libres ayant divers angles d'incidence allant jusqu'à 90 degrés comptés à partir de la normale, en supposant tout angle d'incidence à l'intérieur de cette région comme également probable. La méthode à suivre pour faire cette moyenne est décrite dans l'Appendice A (voir ci-après).

La différence entre la lecture correspondant à l'incidence normale et la lecture correspondant à toute autre incidence ne doit pas dépasser 5 décibels à toute fréquence inférieure à 1 000 Hz et 20 décibels à toute fréquence comprise entre 1 000 et 3 000 Hz.

Point de référence. — Le point de référence de l'échelle en décibels incorporée dans les sonomètres doit être la pression acoustique de référence ($2 \cdot 10^{-4}$ barye à 1 000 Hz).

Remarque. — Quelques différences subsisteront en général entre la caractéristique de fonctionnement aux diverses fréquences normalisée, et la caractéristique d'un sonomètre individuel. Afin qu'après le premier étalonnage, on ait sensiblement la même lecture pour tous les sonomètres (dont les caractéristiques de fonctionnement aux diverses fréquences varient de diverses façons par rapport à la caractéristique nominale) dans le cas d'un bruit donné de type général, il faut adopter la façon de procéder indiquée dans l'Appendice C (voir ci-après).

Toute variation possible dans l'étalonnage d'un sonomètre, due à l'influence des variations de la température de fonctionnement et de la température ambiante, doit être spécifiée.

Loi d'addition des diverses composantes du bruit. — La caractéristique du sonomètre doit être telle que celui-ci indique la racine carrée de la somme des carrés des pressions acoustiques pondérées des différentes composantes sinusoïdales de l'onde acoustique complexe mesurée.

Remarque. — Dans le cas de la plupart des sonomètres, cette règle ne sera pas exactement respectée pour chaque type d'ondes incidentes. Les écarts tolérables par rapport à cette règle d'addition ainsi que les essais propres à déterminer ces écarts, sont indiqués dans l'Appendice B (voir ci-après).

Caractéristique dynamique de l'instrument indicateur. — La caractéristique dynamique de l'instrument indicateur faisant partie du sonomètre doit être telle que les caractéristiques dynamiques d'ensemble suivantes soient satisfaites par le sonomètre :

- a) La déviation de l'aiguille de l'instrument indicateur correspondant à une pression sinusoïdale constante de 1 000 Hz à l'entrée du sonomètre doit être égale à l'élongation maximum de l'aiguille de l'instrument indicateur correspondant à une impulsion de 1 000 Hz ayant la même amplitude que la pression constante et ayant une durée comprise entre 0,2 et 0,5 seconde.
- b) La déviation de l'aiguille de l'instrument indicateur correspondant à une pression sinusoïdale constante de 1 000 Hz à l'entrée du sonomètre ne doit pas être dépassée de plus de 1,0 décibel par l'élongation maximum de l'aiguille de l'instrument indicateur lors de l'application brusque de cette pression constante.
- c) La déviation de l'aiguille de l'instrument indicateur correspondant à une pression sinusoïdale constante de 1 000 Hz à l'entrée du sonomètre doit être au moins de 1 décibel plus grande que l'élongation maximum de l'aiguille de l'instrument indicateur correspondant à une impulsion de 1 000 Hz ayant la même amplitude que la pression constante et ayant une durée de 0,1 seconde.

Ces caractéristiques dynamiques doivent être respectées pour n'importe quelle partie de l'échelle de l'instrument indicateur.

Dans les cas où il n'est pas souhaitable d'observer des fluctuations rapides de l'intensité acoustique subjective, il est possible d'utiliser, pour des raisons de commodité, un instrument indicateur à indications plus lentes à la place de l'instrument décrit ci-dessus, afin d'obtenir un résultat moyen. Les lectures faites sur cet instrument indicateur doivent cependant être les mêmes que celles faites sur l'instrument à action rapide dans le cas de sons soutenus.

APPENDICE A

Caractéristiques de fonctionnement des sonomètres aux diverses fréquences

Méthode de lecture du sonomètre. — Lorsqu'un microphone faisant partie d'un sonomètre se comporte différemment pour des ondes acoustiques arrivant sous des angles d'incidence différents, la lecture au sonomètre dépendra de la direction de l'onde acoustique au point de mesure. Dans des champs acoustiques plus ou moins diffus, des sonomètres ayant des microphones présentant des propriétés directives différentes donneront des lectures différentes s'ils ont été préalablement réglés de façon à donner des lectures égales dans le même champ acoustique d'incidence normale.

Ces différences peuvent être rendues aussi faibles que possible :

- a) En limitant la différence maximum entre le fonctionnement sous l'incidence normale et celui correspondant à n'importe quel autre angle d'incidence, et
- b) En utilisant, pour spécifier la caractéristique de fonctionnement du sonomètre aux diverses fréquences, une méthode qui tienne compte des angles d'incidence probables des composantes les plus importantes du bruit. Les écarts maximums tolérables par rapport à la caractéristique nominale de fonctionnement, ainsi qu'une méthode pour spécifier la caractéristique nominale de fonctionnement de l'ensemble du sonomètre dans un champ acoustique libre, sont données ci-dessus dans les Définitions ; les paragraphes ci-après donnent les détails de la méthode permettant de déterminer la caractéristique de fonctionnement d'un sonomètre.

Méthode pour déterminer la caractéristique de fonctionnement d'un sonomètre dans un champ acoustique libre. — La caractéristique de fonctionnement de l'ensemble d'un sonomètre dans un champ acoustique libre, telle qu'elle est définie ci-dessus, peut être déduite des lectures obtenues avec des ondes acoustiques tombant sur le microphone sous des angles d'incidence différents compris à l'intérieur d'une région spécifiée. Le calcul consiste à prendre la moyenne des tensions aux bornes de sortie du microphone, correspondant à des ondes planes d'une fréquence donnée arrivant successivement de toutes les directions (dans la région donnée), en supposant que toutes ces directions d'incidences soient également probables. Comme, en général, la variation de la tension aux bornes du microphone en fonction de l'angle d'incidence n'est pas aisément exprimable mathématiquement, il sera plus commode de procéder par échelons finis dans l'évaluation des moyennes. On a trouvé que l'expression suivante donne des résultats satisfaisants avec des microphones électrodynamiques ou à condensateur :

$$P = 0,034 P_o + 0,259 P_{30} + 0,448 P_{60} + 0,259 P_{90} \quad (1)$$

- où P = puissance moyenne fournie par le microphone ;
 P_o = puissance fournie dans le cas d'une onde d'incidence normale ;
 P_{30} = puissance fournie dans le cas d'une onde faisant un angle de 30 degrés avec la normale ;
 P_{60} = puissance fournie dans le cas d'une onde faisant un angle de 60 degrés avec la normale ;
 P_{90} = puissance fournie dans le cas d'une onde faisant un angle de 90 degrés avec la normale.

Voici un exemple illustrant la manière d'utiliser cette expression. Supposons qu'en mesurant la puissance fournie par le microphone pour des ondes progressives libres présentant un angle d'incidence de 0, 30, 60 et 90 degrés par rapport à l'incidence normale, on ait obtenu les données suivantes :

Fréquence	Angle d'incidence	Puissance électrique mesurée à la sortie du microphone et correspondant à un niveau de pression acoustique de 60 décibels, au-dessus de la pression acoustique de référence, pour l'onde acoustique progressive libre appliquée au microphone
4 000 p:s	0°	3,00 micro-microwatts
	30°	1,9 —
	60°	0,75 —
	90°	0,38 —

Portons ces valeurs dans la formule (1) ; on a :

$$P = 0,034 \times 3 + 0,259 \times 1,9 + 0,448 \times 0,75 + 0,259 \times 0,38 = 1,03$$

Il en résulte que la puissance électrique moyenne à la sortie du microphone, à cette fréquence de 4 000 Hz et correspondant à un niveau de 60 décibels (au-dessus de la pression acoustique de référence) pour la pression acoustique appliquée à l'entrée du microphone, est 1,03 micro-microwatt. (Cela correspond à $1,03/3 = 0,34$ de la puissance à la sortie du microphone pour une onde d'incidence normale, de sorte que l'écart entre l'ordonnée de la caractéristique nominale de fonctionnement du sonomètre, telle qu'elle est définie ci-dessus, pour une onde acoustique libre à 4 000 Hz et l'ordonnée de la caractéristique correspondant à l'incidence normale est $10 \log_{10} 0,34 = -4,6$ décibels).

La formule (1) a été obtenue comme il suit :

Supposons que le microphone soit symétrique par rapport à un axe normal au plan du diaphragme, de sorte que la puissance électrique fournie par le microphone soit constante pour des ondes acoustiques dont la direction d'incidence fait le même angle x avec cet axe. Supposons de plus, en première approximation, que la puissance fournie soit constante et égale à P_0 pour toutes les valeurs de x comprises entre 0 et 15°, qu'elle soit égale à une autre valeur constante P_{30} pour toutes les valeurs de x comprises entre 15° et 45° et ainsi de suite.

Imaginons un hémisphère ainsi qu'un cône ayant son axe normal au grand cercle de l'hémisphère, et son sommet au centre de celui-ci, et présentant un angle au sommet de $2 \times 15^\circ$. Comme toutes les directions (d'incidence des ondes) comprises à l'intérieur de l'hémisphère sont également probables, la probabilité pour qu'une onde donnée tombe sous un angle d'incidence pour lequel x est compris entre 0 et 15° est le rapport de l'aire découpée sur la surface de l'hémisphère par le cône d'une part, à l'aire totale de l'hémisphère d'autre part ; on trouve que celui-ci est 0,034. Il s'ensuit que la contribution des ondes dont les directions d'incidence sont comprises dans ce cône à la puissance à la sortie est $0,034 P_0$. Pareillement, la contribution des ondes dont les directions d'incidence sont comprises entre ce cône et un cône dont l'angle au sommet vaut $2 \times 45^\circ$ est $0,259 P_{30}$ et ainsi de suite. La puissance totale à la sortie du microphone est la somme des contributions correspondant à tous ces groupes d'ondes ; cela conduit à la formule (1) ci-dessus.

Si l'hypothèse de la symétrie de fonctionnement autour de l'axe normal au plan du diaphragme du microphone n'était pas admissible, il faudrait faire un certain nombre de mesures correspondant chacune à une certaine aire de l'hémisphère devant le microphone. La moyenne des puissances indiquées par ces lectures, comparée à la puissance indiquée par la lecture relative à l'incidence normale au diaphragme, fournirait un moyen de déterminer la différence entre le caractéristique nominale de fonctionnement de l'ensemble du sonomètre dans un champ acoustique libre, telle qu'elle est définie ci-dessus, et la caractéristique correspondant à l'incidence normale, pourvu que toutes les aires pour lesquelles des lectures ont été relevées aient des étendues à peu près égales.

APPENDICE B

Essais relatifs à la loi d'addition des composantes du bruit

Montages de mesures. — Pour réaliser ces essais, il faut procéder ainsi :

Tout d'abord réaliser des montages tels que deux ondes sinusoïdales de fréquences différentes (présentant des harmoniques réglageables) puissent être appliquées simultanément au sonomètre, leurs amplitudes étant réglées en même temps indépendamment l'une de l'autre. Ces ondes doivent être purement sinusoïdales et, théoriquement, elles devraient être des ondes acoustiques bien que, si cela est jugé préférable en raison de la distorsion causée par les haut-parleurs et les récepteurs, on puisse appliquer au sonomètre à la sortie du microphone des ondes sinusoïdales électriques.

Les fréquences de ces deux ondes sinusoïdales ne doivent pas être dans un rapport simple et elles doivent être suffisamment séparées l'une de l'autre, de manière que l'instrument indicateur ne suive pas des battements d'interférence. En choisissant les fréquences au-dessus de 800 Hz l'effet des harmoniques de l'oscillateur pourra être rendu plus facilement négligeable. On doit régler l'amplitude de chacune de ces deux ondes de telle sorte que chacune produise, à elle seule, une déviation à mi-échelle de l'instrument indicateur. Les relations d'impédance entre la source d'une onde sinusoïdale, l'entrée du sonomètre et l'autre source d'onde sinusoïdale doivent être, lorsqu'on règle l'une de ces ondes isolément, identiques sous tous les rapports aux relations qui existent lorsque les deux ondes sont appliquées simultanément à l'entrée du sonomètre. Lorsqu'on règle l'amplitude d'une de ces ondes sinusoïdales, l'autre ne doit pas contribuer à la déviation de l'aiguille de l'instrument indicateur du sonomètre, bien que les relations d'impédance restent les mêmes comme il est dit ci-dessus. Lorsque chaque onde sinusoïdale a été réglée de telle sorte qu'elle produise à elle seule une déviation à mi-échelle, les deux ondes sont appliquées simultanément au sonomètre et toutes les deux sont affaiblies de la même façon, jusqu'à ce que la déviation à mi-échelle soit de nouveau obtenue. Cet affaiblissement devrait être égal à $3 \pm 0,5$ décibels.

Cette expérience doit être répétée pour d'autres points de l'échelle, y compris le point de déviation maximum.

Parmi les sons qu'on peut être amené à mesurer souvent avec un sonomètre, se trouveront des sons dont la forme d'onde comporte des pointes disposées régulièrement (steady peaked waves) et des sons de durée tellement petite que l'aiguille de l'instrument indicateur du sonomètre ne les suivra pas. Pour des sons de ce genre la loi d'addition du redresseur devrait s'étendre quelque peu au delà de l'intervalle qui est normalement en jeu, lorsqu'une déviation correspondant au maximum de l'échelle est produite par une onde sinusoïdale. De même l'amplificateur devrait être largement dimensionné pour supporter ces pointes. Il en résulte qu'il est nécessaire d'effectuer des essais afin de s'assurer que les caractéristiques de l'amplificateur et du redresseur sont telles que la loi d'addition des composantes d'un son complexe reste encore valable entre certaines limites pour ces types de sons. En vue de déterminer si le sonomètre convient à cet égard, il y a lieu d'effectuer l'essai suivant :

Insérer un réseau de résistance entre les bornes de l'instrument indicateur et les bornes auxquelles celles-ci sont normalement connectées, de telle sorte que la même résistance qu'avant soit présentée au redresseur, mais aussi de telle manière que, pour une tension électrique donnée appliquée au redresseur, l'instrument indicateur soit traversé par un courant inférieur à celui qui circulait auparavant. Ce réseau de résistances devrait être tel que son insertion cause une variation dans la lecture de l'instrument indicateur d'environ 7 ou 8 décibels.

De la manière indiquée ci-dessus, réaliser des montages tels que deux ondes sinusoïdales (de fréquences différentes mais non en rapport simple et suffisamment séparées pour que l'instrument indicateur ne puisse suivre les battements) puissent être appliquées au sonomètre simultanément et réglées en amplitude en même temps et indépendamment l'une de l'autre. Sans le réseau de résistances, régler l'amplitude de chaque onde de sorte qu'elle produise à elle seule la déviation maximum de l'instrument indicateur. Insérer le réseau de résistances et accroître l'amplitude de chaque onde d'environ 3 décibels. Noter la déviation de l'aiguille de l'instrument indicateur due à chacune des deux ondes séparément. (La déviation due à

chacune devrait être la même). Appliquer alors les deux ondes sinusoïdales simultanément et affaiblir chacune également jusqu'à ce que la même déviation soit de nouveau obtenue. Cet affaiblissement devrait être de 3 ± 1 décibels.

Répéter l'expérience à ceci près, qu'après insertion du réseau de résistances, on augmente l'amplitude de chaque onde de 6 décibels au lieu de 3 décibels. Noter les déviations dues à chaque onde respectivement (les déviations devraient être les mêmes) et appliquer alors les deux ondes simultanément en les affaiblissant également jusqu'à ce que la déviation obtenue avec chaque onde isolément soit de nouveau atteinte. Dans ce cas l'affaiblissement devrait être $3 \pm 1,5$ décibels.

Ces limites devraient être respectées pour toutes les positions des dispositifs de réglage de gain utilisés pour l'étalonnage et dans les mesures.

APPENDICE C

Réglage d'un sonomètre particulier lors de son étalonnage

Un sonomètre particulier ayant une caractéristique de fonctionnement aux diverses fréquences différente de la caractéristique nominale doit être étalonné de telle sorte que l'indication qu'il donne en réponse à un bruit de caractère général soit sensiblement en accord avec l'indication donnée par un sonomètre ayant comme caractéristique de fonctionnement la caractéristique nominale. Le procédé à appliquer consiste à calculer, pour un bruit spécifié, les indications que donneraient (en tenant compte des poids appliqués aux composantes de diverses fréquences), d'une part un sonomètre ayant pour caractéristique de fonctionnement la caractéristique nominale, et d'autre part le sonomètre particulier considéré. On rend alors ces indications égales en réglant convenablement ce sonomètre particulier lors de son étalonnage.

Ce réglage dépend, non seulement de la caractéristique de fonctionnement de ce sonomètre particulier aux diverses fréquences et de la caractéristique nominale, mais aussi de la courbe de distribution spectrale du bruit spécifié. Dans ce but on a choisi la distribution spectrale indiquée dans le colonne 2 du tableau I ci-après. Cette distribution est constituée par les moyennes, prises dans des bandes de fréquences larges de 100 Hz, des courbes de distribution spectrale de bruits variés. On ajoute alors algébriquement les nombres de décibels par rapport aux valeurs pour la fréquence 1 000 Hz correspondant respectivement à cette distribution spectrale et à la caractéristique nominale de fonctionnement du sonomètre aux diverses fréquences (colonne 3 du tableau I). Les sommes obtenues (colonne 4) représentent les contributions à l'indication du sonomètre, en décibels, correspondant à chaque bande de fréquences. On détermine alors les carrés des pressions acoustiques pondérées correspondant à chacun de ces nombres de décibels (colonne 5) et on en fait le total pour obtenir la somme des carrés des pressions pondérées, exprimées en valeurs relatives par rapport à la pression acoustique dans la bande qui contient la fréquence 1 000 Hz. Puisqu'il est visible que cette somme ne serait pas beaucoup affectée par des fréquences supérieures à 3 000 Hz, la sommation est intentionnellement arrêtée à cette fréquence.

En appliquant le même procédé, mais en substituant dans le colonne 3 du tableau I les ordonnées de la caractéristique de fonctionnement du sonomètre particulier considéré (cette caractéristique ayant été tracée de façon à passer par le point d'ordonnée 0 décibel pour 1 000 Hz), on obtient une autre valeur pour la somme des carrés des pressions acoustiques pondérées. Si cette valeur est la même que celle qui a été obtenue par les calculs où l'on a employé la caractéristique de fonctionnement nominale, on doit étalonner le sonomètre particulier considéré de façon qu'il donne une indication de 0 décibel pour la pression acoustique de référence à 1 000 Hz. Si ces deux sommes ne sont pas égales, on devrait étalonner ce sonomètre particulier de façon à ce qu'il indique X décibels pour la pression acoustique de référence à 1 000 Hz, avec

$$X = 10 \log_{10} \frac{\text{somme des carrés des pressions acoustiques pondérées, avec la caractéristique nominale}}{\text{somme des carrés des pressions acoustiques pondérées, avec la caractéristique du sonomètre particulier considéré.}}$$

Cette valeur X peut, bien entendu, être positive ou négative, positive quand la somme des carrés des pressions acoustiques pondérées, avec la caractéristique du sonomètre particulier considéré, est inférieure à la somme correspondante, avec la caractéristique nominale ; négative quand la plus grande de ces deux sommes correspond à ce sonomètre particulier. On doit employer un procédé semblable pour étalonner le sonomètre en vue de son emploi avec les courbes B et C.

TABLEAU I

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Fréquence (en Hz)	Niveau relatif moyen de pression acoustique (en décibels), dans des bandes de 100 Hz, pour le bruit de type général	Caractéristique nominale de fonctionnement aux diverses fréquences (poids en décibels) (Courbe A)	Somme (2) + (3)	Carrés des pressions acoustiques pondérées *
100	+ 9,7	-19,3	- 9,6	0,11
200	+ 8,2	-11,2	- 3,0	0,50
300	+ 6,9	- 7,4	- 0,5	0,89
400	+ 5,7	- 5,1	+ 0,6	1,15
500	+ 4,5	- 3,7	+ 0,8	1,20
600	+ 3,4	- 2,5	+ 0,9	1,23
700	+ 2,3	- 1,6	+ 0,7	1,18
800	+ 1,5	- 0,9	+ 0,6	1,15
900	+ 0,7	- 0,3	+ 0,4	1,10
1 000	0	0	0	1,00
1 100	- 0,8	+ 0,5	- 0,3	0,93
1 200	- 1,5	+ 0,9	- 0,6	0,87
1 300	- 2,3	+ 1,1	- 1,2	0,76
1 400	- 2,9	+ 1,2	- 1,7	0,68
1 500	- 3,6	+ 1,5	- 2,1	0,62
1 600	- 4,2	+ 1,6	- 2,6	0,55
1 700	- 4,9	+ 1,7	- 3,2	0,48
1 800	- 5,5	+ 1,8	- 3,7	0,43
1 900	- 6,2	+ 1,9	- 4,3	0,37
2 000	- 6,8	+ 2,0	- 4,8	0,33
2 100	- 7,5	+ 2,0	- 5,5	0,28
2 200	- 8,1	+ 2,0	- 6,1	0,24
2 300	- 8,7	+ 2,0	- 6,7	0,21
2 400	- 9,3	+ 2,0	- 7,3	0,19
2 500	- 9,8	+ 2,0	- 7,8	0,17
2 600	-10,3	+ 2,0	- 8,3	0,15
2 700	-11,0	+ 2,0	- 9,0	0,13
2 800	-11,5	+ 2,0	- 9,5	0,11
2 900	-12,0	+ 1,9	-10,1	0,10
3 000	-12,5	+ 1,8	-10,7	0,08
Somme des carrés des pressions acoustiques pondérées				17,19

* Le carré de la pression acoustique pondérée = $\text{antilog}_{10} \frac{n}{10}$, n étant le nombre de décibels qui figure dans la colonne (4).

APPENDICE D

Tolérances sur la caractéristique de fonctionnement d'un sonomètre
aux diverses fréquences

Pour déterminer si la caractéristique de fonctionnement d'un sonomètre particulier aux diverses fréquences est comprise entre les limites de tolérance spécifiées, on doit superposer à la caractéristique nominale la caractéristique de fonctionnement de ce sonomètre,

TABLEAU II

Fréquence (en Hz)	Caractéristique nominale de fonctionnement aux diverses fréquences (poids en décibels par rapport à la valeur pour 1 000 Hz)			Tolérances (en décibels sur les courbes A, B et C)	
	Courbe A	Courbe B	Courbe C		
25	-39,5	-16,2	0	+6,0	-9,5
60	-26,2	-9,0	0	±3,0	±3,0
100	-19,3	-5,7	0	±3,0	±3,0
200	-11,2	-2,2	0	±2,5	±2,5
300	-7,4	-1,0	0	±2,0	±2,0
400	-5,1	-0,6	0	±2,0	±2,0
500	-3,7	-0,4	0	±2,0	±2,0
600	-2,5	-0,3	0	±2,0	±2,0
700	-1,6	-0,1	0	±2,0	±2,0
800	-0,9	0	0	±2,0	±2,0
900	-0,3	0	0	±2,0	±2,0
1 000	0	0	0	±2,0	±2,0
1 100	+0,5	0	0	±2,0	±2,0
1 200	+0,9	0	0	+2,0	-2,5
1 300	+1,1	0	0	+2,0	-2,5
1 400	+1,2	0	0	+2,0	-3,0
1 500	+1,5	0	0	+2,0	-3,0
1 600	+1,6	0	0	+2,5	-3,0
1 700	+1,7	0	0	+2,5	-3,5
1 800	+1,8	0	0	+2,5	-3,5
1 900	+1,9	0	0	+3,0	-4,0
2 000	+2,0	0	0	+3,0	-4,0
2 100	+2,0	0	0	+3,0	-4,0
2 200	+2,0	0	0	+3,0	-4,0
2 300	+2,0	0	0	+3,5	-4,5
2 400	+2,0	0	0	+3,5	-4,5
2 500	+2,0	0	0	+3,5	-5,0
2 600	+2,0	0	0	+3,5	-5,0
2 700	+2,0	0	0	+3,5	-5,0
2 800	+2,0	0	0	+3,5	-5,0
2 900	+1,9	0	0	+4,0	-5,5
3 000	+1,8	0	0	+4,0	-5,5
3 500	+1,4	0	0	+4,5	-6,5
4 000	+1,0	0	0	+5,0	-7,0
4 500	+0,5	-0,2	0	+5,0	-7,5
5 000	0	-0,5	0	+5,0	-7,5
6 000	-1,0	-1,1	0	+5,5	-8,0
7 000	-2,0	-1,9	0	+6,0	-9,0
8 000	-3,0	-2,7	0	+6,0	-9,5

déplacée de X décibels vers le haut ou vers le bas, le nombre X ayant été déterminé pour le bruit de caractère général spécifié dans l'Appendice C. Dans cette nouvelle position, la caractéristique de fonctionnement du sonomètre particulier considéré se trouve déplacée vers le haut par rapport à la caractéristique nominale si la somme des carrés des pressions acoustiques pondérées avec la caractéristique de ce sonomètre est inférieure à la somme correspondante avec la caractéristique nominale ; la caractéristique du sonomètre considéré doit alors être comprise entre les courbes en pointillé de la figure 1, et les ordonnées de cette caractéristique doivent être comprises entre les limites de tolérance indiquées dans le tableau II. On doit appliquer le même procédé pour examiner les tolérances sur les caractéristiques de fonctionnement B et C.

APPENDICE E

Corrections à apporter aux indications d'un sonomètre pour des bruits particuliers

La grandeur que l'on désire obtenir dans une mesure d'intensité acoustique subjective au moyen d'un sonomètre est l'indication qui serait donnée par un sonomètre ayant exactement les caractéristiques nominales normalisées. Un sonomètre réel, étalonné comme il a été indiqué ci-dessus dans l'Appendice C de façon à donner une indication exacte pour un « bruit de caractère général », ne peut toutefois pas donner une indication exacte pour d'autres bruits ayant une loi différente de distribution des pressions acoustiques en fonction de la fréquence. Toutefois, quand on emploie des sonomètres pour mesurer un bruit dont la distribution spectrale diffère d'une façon marquée de la distribution spectrale utilisée pour l'étalonnage du sonomètre considéré, on peut corriger l'indication donnée par ce sonomètre de façon à obtenir un résultat très voisin de celui que donnerait un sonomètre ayant la caractéristique nominale de fonctionnement. Pour atteindre ce but, l'utilisateur du sonomètre a besoin de connaître :

1. la caractéristique de fonctionnement aux diverses fréquences du sonomètre particulier utilisé, après le réglage éventuellement fait par le constructeur suivant le procédé décrit dans l'Appendice C ;
2. la distribution spectrale approximative du bruit à mesurer.

Le procédé de détermination de la correction à apporter à l'intensité acoustique subjective mesurée au sonomètre repose sur le calcul de la « somme des carrés des pressions acoustiques pondérées ».

1. pour un sonomètre ayant la caractéristique nominale de fonctionnement aux diverses fréquences ;
2. pour le sonomètre particulier considéré, en employant la caractéristique de fonctionnement du sonomètre réglé comme il a été indiqué à l'Appendice C.

La méthode à suivre est identique à celle dont on a indiqué le principe à l'Appendice C, avec la seule différence qu'on emploie pour les calculs la distribution spectrale du bruit particulier considéré, au lieu de la distribution spectrale du « bruit de caractère général ».

La correction C décibels à apporter à l'indication du sonomètre est donnée par

$$C = 10 \log_{10} \left(\frac{S_1}{S_2} \right)$$

où S_1 est la somme des carrés des pressions acoustiques du bruit particulier considéré pondérées d'après la caractéristique nominale, et S_2 est la somme correspondante, d'après la caractéristique réelle de fonctionnement du sonomètre particulier considéré, réglé par le constructeur. Si S_2 est inférieure à S_1 , la correction est positive et on l'ajoute à l'indication du sonomètre ; si S_2 est supérieure à S_1 , la correction est négative et on diminue en conséquence l'indication du sonomètre.

MÉTHODE DE RÉCIPROCITÉ POUR L'ÉTALONNAGE DES MICROPHONES A CONDENSATEUR

Mémemorandum du 22 janvier 1947 de l'American Telephone and Telegraph Company

1. Introduction

Pendant la guerre on a trouvé avantageux dans plusieurs laboratoires, comprenant les Bell Telephone Laboratories, d'adopter un système d'étalonnage des microphones à condensateurs, appelé la « méthode de réciprocité », qui a supplanté la méthode du thermophone précédemment employée. Il y a eu un certain nombre de raisons pour prendre cette décision, qu'il n'y a pas lieu de discuter ici, si ce n'est pour mentionner qu'on a trouvé un accord très satisfaisant entre divers laboratoires travaillant indépendamment, quand on a fait des comparaisons en chaîne.

Un article fondamental sur ce sujet a été publié par R. K. Cook, aux pages 489 à 505 du numéro de novembre 1940 de la revue *Journal of Research, National Bureau of Standards*. Il n'est pas dans l'intention du présent mémorandum de traiter les mêmes questions, mais plutôt de se concentrer sur un aperçu des principes physiques de la méthode.

Ceci s'applique particulièrement à l'établissement du théorème de réciprocité, qui est énoncé, mais n'est pas démontré dans l'article précité, et ceci fournira quelques résultats intermédiaires qui ont été omis dans l'application du théorème.

2. Aperçu sur la méthode de réciprocité

Sous sa forme la plus simple, la méthode de réciprocité fournit simultanément la caractéristique « efficacité-fréquence » de deux microphones, I et II. Un d'entre eux, par exemple I, doit être capable de fonctionner aussi comme source sonore. Une autre source sonore, III, qui peut être un autre microphone à condensateur, est nécessaire dans une des étapes intermédiaires.

Les caractéristiques obtenues sont des caractéristiques de microphone muni d'un coupleur, c'est-à-dire que les pressions acoustiques sont produites et appliquées aux microphones dans une cavité fermée qui réunit la source sonore au microphone. Le théorème de réciprocité fournit une méthode qui permet de calculer la pression dans le coupleur en fonction de quantités physiques faciles à mesurer.

Pour éviter les effets de propagation, tels que la formation d'ondes stationnaires, les dimensions du coupleur doivent être petites par rapport à la longueur d'onde des vibrations sonores dans le gaz contenu dans le coupleur.

Les opérations successives de l'étalonnage sont alors les suivantes :

a) En employant I comme source sonore et II comme microphone, on détermine le rapport de la tension électrique à la sortie du système à la tension d'entrée. Ce rapport est proportionnel au produit des efficacités de I et de II.

b) En employant III comme source sonore, on détermine successivement les tensions électriques à la sortie de I et de II. On divise une de ces tensions par l'autre, ce qui donne le quotient des efficacités de I et de II.

c) Puisqu'on peut calculer le facteur de proportionnalité dans la première opération à partir du théorème de réciprocité, on peut déduire des résultats des opérations *a* et *b*, pris simultanément, les efficacités individuelles des microphones I et II.

3. Le théorème de réciprocité

Dans un réseau électrique linéaire passif, on peut énoncer comme suit le théorème de réciprocité. Si un générateur d'impédance interne nulle placé dans la branche 1 du réseau fait circuler un certain courant dans la branche 2, un courant de même intensité circulera dans la branche 1 si le générateur est transporté dans la branche 2. Dans un transducteur électro-acoustique les quantités qui sont liées par une relation de réciprocité ne sont pas évidentes intuitivement d'une façon aussi immédiate. On les trouvera ci-après en considérant un microphone à condensateur, d'abord comme une source sonore, et ensuite comme un récepteur de sons.

Le but dans le premier cas est de trouver la variation du volume (capacité cubique) du condensateur quand on applique à ses armatures une petite augmentation de différence de potentiel ; ceci est fait au § 3.1 ci-après. Dans le second cas, on cherche la quantité de charge électrique qui est amenée à s'écouler du condensateur quand on applique au diaphragme une petite augmentation de pression acoustique ; ceci est discuté au § 3.2 ci-après. Les résultats obtenus dans ces paragraphes démontrent le théorème de réciprocité. On les énonce alors de nouveau, cette fois en fonction de l'efficacité de l'appareil utilisé comme microphone (voir le § 3.3 ci-après). Les autres paragraphes décrivent le principe de l'étalonnage.

Il sera évident d'après le caractère des approximations faites ci-après que toutes les variations considérées, variations de différence de potentiel, de charge électrique, de capacité, de déplacement, etc., sont limitées à des valeurs assez faibles pour qu'on puisse considérer le microphone à condensateur comme un dispositif linéaire. Dans ces conditions, une méthode d'approche du problème naturelle et rapide consiste dans l'emploi de relations énergétiques généralisées, sous forme d'équations différentielles, pour fournir les équations du mouvement du diaphragme. Une autre méthode d'approche du problème est celle des analogies entre les systèmes électro-acoustiques et les réseaux électriques ; c'est, bien entendu, la même méthode sous une forme différente. On peut aussi déduire directement les équations cherchées des formules qui donnent la capacité et la force d'attraction électrostatique entre les armatures d'un condensateur à armatures planes parallèles.

C'est cette dernière méthode qui a été choisie ; le calcul algébrique est plus fastidieux, mais la nature des considérations physiques qui interviennent peut être plus apparente.

3.1. *Emploi de l'appareil comme source sonore*

Considérons la figure 1 *a* ci-après, où une batterie de polarisation de force électromotrice E est reliée à une armature du microphone, et où C est la capacité du microphone à condensateur. Si D est la distance entre les armatures parallèles du condensateur, la pression électrostatique (force par unité de surface) qui s'exerce entre les armatures est :

$$F = \frac{E^2}{8\pi D^2} \text{ baryes (dynes/cm}^2\text{)}$$

Supposons maintenant que la différence de potentiel entre les armatures augmente de e . Ceci augmentera la force d'attraction et aura pour effet que le diaphragme se rapprochera de l'armature fixe. La diminution de la distance entre les armatures, à son tour, augmente encore davantage la force. Le mouvement continuera jusqu'à ce qu'il soit arrêté par les forces élastiques développées dans le diaphragme. A l'équilibre, le déplacement du diaphragme sera d_1 centimètres, et la pression électrostatique

$$F + f_1 = \frac{(E + e)^2}{8\pi (D - d_1)^2}$$

L'augmentation de pression électrostatique, f_1 , est

$$f_1 = \frac{(E + e)^2}{8\pi (D - d_1)^2} - F = \frac{E^2}{8\pi D^2} \left[\frac{\left(1 + \frac{e}{E}\right)^2}{\left(1 - \frac{d_1}{D}\right)^2} - 1 \right]$$

La force totale qui s'exerce sur la surface entière A du diaphragme est alors Af_1 dynes. Ceci concorde avec la valeur d_1 centimètres du déplacement si

$$d_1 = KAf_1$$

la constante K étant définie comme la quantité dont le diaphragme se déplace sous l'application d'une force de une dyne. En substituant dans cette équation la valeur trouvée ci-dessus pour f_1 on a :

$$\frac{d_1}{KA} = \frac{E^2}{8\pi D^2} \left[\frac{(1 + e/E)^2}{(1 - d_1/D)^2} - 1 \right]$$

Il faut résoudre cette équation par rapport à d_1 . En développant les expressions qui figurent dans la parenthèse, en effectuant la division et en négligeant les termes d'ordre supérieur au premier en e/E et d_1/D on trouve :

$$\frac{d_1}{KA} = \frac{E^2}{8\pi D^2} \left[2 \frac{e}{E} + 2 \frac{d_1}{D} \right]$$

ou en ordonnant :

$$d_1 = \frac{KAEe}{4\pi D^2 \left(1 - \frac{KAE^2}{4\pi D^3}\right)} \text{ cm}$$

Avant l'application de la tension e le volume du condensateur était égal à AD centimètres cubes. L'application de e fait varier le volume d'une petite quantité v avec

$$v = Ad_1$$

ou

$$v = \frac{KA^2E}{4\pi D^2 \left(1 - \frac{KAE^2}{4\pi D^3}\right)} e \text{ cm}^3$$

La capacité du condensateur (valeur au repos) est, en négligeant l'effet des bords :

$$C = \frac{A}{4\pi D} \text{ unités électrostatiques,}$$

de sorte que :

$$v = \frac{4\pi KC^2 E}{1 - \frac{KCE^2}{D^2}} e \text{ cm}^3$$

3.2 Emploi de l'appareil comme microphone

Considérons la figure 1 b ci-après, et admettons qu'une onde acoustique progressive plane ébranle le diaphragme, produisant une petite augmentation de pression, p . Le diaphragme se déplace, et comme la distance entre les armatures décroît, la force attractive électrostatique produite par la batterie de polarisation augmente. La combinaison de la pression acoustique et de l'attraction électrostatique entraîne le diaphragme vers l'armature opposée jusqu'à ce que les forces élastiques développées dans le diaphragme limitent le mouvement. Le déplacement est alors d_2 centimètres, avec

$$d_2 = KA(p + f_2)$$

le coefficient K (« compliance ») ayant la même valeur qu'au § 3.1 ci-dessus.

(Le fait que le diaphragme est encastré sur ses bords, et par suite ne peut pas se déplacer à la façon d'un piston, peut faire naître quelques doutes sur ce point. Le mode de flexion du diaphragme lui donne, bien entendu, une forme beaucoup plus compliquée que celle d'un piston. Mais si la force est appliquée uniformément sur le diaphragme à la fois quand c'est une force électrostatique et quand c'est une force acoustique, le mouvement qui en résulte est le même, et on peut considérer que K est le même, bien que K soit une fonction de la position du point du diaphragme où l'on mesure le déplacement. Toutefois, la grandeur d utilisée dans les formules est une sorte de valeur moyenne, dont l'emploi se justifie parce qu'elle est petite par rapport à D . Le coefficient K est fonction de la charge acoustique aussi bien que des propriétés mécaniques du diaphragme).



Quand on emploie l'appareil comme microphone, l'augmentation f_2 de la force d'attraction électrostatique est donnée par

$$F + f_2 = \frac{E^2}{8\pi (D - d_2)^2}$$

puisque le potentiel de polarisation est maintenu constant. En faisant les mêmes approximations que ci-dessus :

$$f_2 = \frac{E^2 d_2}{4\pi D^3} \text{ dynes}$$

on obtient alors d_2 en résolvant l'équation :

$$d_2 = KA \left(p + \frac{E^2 d_2}{4\pi D^3} \right)$$

ce qui donne :

$$d_2 = \frac{KA p}{1 - \frac{KAE^2}{4\pi D^3}}$$

Ce déplacement augmente la capacité du condensateur, puisque les armatures se sont rapprochées. La capacité passe de la valeur

$$C = \frac{A}{4\pi D}$$

à la valeur

$$\begin{aligned} C + C_0 &= \frac{A}{4\pi (D - d_2)} = \frac{A}{4\pi D \left(1 - \frac{d_2}{D} \right)} \\ &= C \left[1 + \frac{d_2}{D} + \left(\frac{d_2}{D} \right)^2 + \dots \dots \right] \end{aligned}$$

d'où approximativement :

$$C_0 = C \frac{d_2}{D}$$

La variation de capacité entraîne une variation de charge électrique de la valeur $Q = CE$ à la valeur

$$Q + q = (C + C_0) E$$

La variation de charge électrique est alors :

$$q = C_0 E$$

En substituant les valeurs de C_0 et d_2 données par les formules ci-dessus, on obtient :

$$q = \frac{CE}{D} d_2$$

$$q = \frac{KACE}{D \left(1 - \frac{KAE^2}{4\pi D^3} \right)} p$$

ou en utilisant la relation $A = 4\pi DC$

$$q = \frac{4\pi KC^2E}{1 - \frac{KCE^2}{D^2}} p \text{ unités électrostatiques}$$

3.3 Expression des relations de réciprocité en fonction de l'efficacité de l'appareil employé comme microphone

Les deux paragraphes ci-dessus se terminaient par les relations suivantes :

$$v = \frac{4\pi KC^2E}{1 - \frac{KCE^2}{D^2}} e$$

$$q = \frac{4\pi KC^2E}{1 - \frac{KCE^2}{D^2}} p$$

Les coefficients sont identiques. Les quantités entre lesquelles il y a réciprocité pour un microphone à condensateur sont donc :

quand l'appareil est employé comme source sonore,

e comme cause, v comme effet ;

quand l'appareil est employé comme récepteur de sons,

p comme cause, q comme effet ;

ou, d'une façon plus générale,

si, quand l'appareil est utilisé comme récepteur de sons, on a

$$q = tp$$

alors, quand l'appareil est employé comme source sonore, on a

$$v = te$$

où la constante t est la même dans les deux cas.

L'opération suivante consiste à exprimer sous une nouvelle forme les relations de réciprocité, en fonction de l'efficacité du microphone à condensateur quand il est employé comme microphone. Ceci revient à trouver l'expression de t en

fonction de l'efficacité. Sous cette forme, on trouvera que le coefficient K (« compliance ») qu'il peut être incommode d'employer directement, disparaît dans une nouvelle définition de la capacité du condensateur. La nouvelle grandeur ainsi définie sera, comme on pouvait s'y attendre par intuition, la capacité dynamique.

L'efficacité r d'un microphone à condensateur est définie par l'expression

$$r = \frac{\text{variation de la différence de potentiel à circuit ouvert aux bornes de l'appareil}}{\text{variation de pression appliquée au diaphragme}}$$

Le concept de différence de potentiel « à circuit ouvert » demande aussi à être défini. On admet que la batterie de polarisation est reliée à l'armature du condensateur par l'intermédiaire d'une résistance si grande qu'on peut la considérer comme infinie. Dans de telles conditions aucune charge électrique ne peut se déplacer. Quand l'application d'une pression acoustique entraîne un déplacement du diaphragme tel que la capacité croisse de la valeur C à la valeur $C + C_o'$, la différence de potentiel doit décroître de la valeur E à la valeur $E - e'$ pour que la charge puisse conserver la valeur constante Q . La variation e' de la différence de potentiel est par définition la différence de potentiel « à circuit ouvert » produite par l'onde sonore. Avant l'application de l'onde sonore au diaphragme du microphone, on a :

$$E = \frac{Q}{C}$$

Après l'application de cette onde, on a :

$$\begin{aligned} E - e' &= \frac{Q}{C + C_o'} = \frac{EC}{C + C_o'} \\ &= E(1 - C_o'/C + \dots\dots) \end{aligned}$$

ou approximativement

$$e' = \frac{EC_o'}{C}$$

L'efficacité est donc

$$r = \frac{e'}{p} = \frac{EC_o'}{pC}$$

La valeur de C_o' n'est pas tout à fait égale à celle de C_o , qui est la variation de la capacité quand on emploie l'appareil comme microphone, mais on peut trouver la relation qui existe entre ces deux grandeurs. Soit d_3 centimètres le déplacement du diaphragme dans les conditions où l'on a défini la différence de potentiel « à circuit ouvert », C_o' est reliée à ce déplacement par la relation :

$$C + C_o' = \frac{A}{4\pi(D - d_3)} = \frac{C}{1 - \frac{d_3}{D}}$$

ou, en faisant la même approximation que ci-dessus :

$$C_o' = C \frac{d_3}{D}$$

Dans ce cas le déplacement est dû seulement à la pression acoustique puisque la charge reste constante, que le potentiel décroît et qu'il n'y a pas d'accroissement de la force électrostatique qui pourrait favoriser ce déplacement. On a donc

$$d_3 = KA p$$

Quand on emploie l'appareil comme microphone, le déplacement est plus grand, puisqu'il est favorisé par l'accroissement de la force électrostatique. On a trouvé au § 3.2 ci-dessus que le déplacement d_2 était donné par la formule :

$$d_2 = \frac{KA p}{1 - \frac{KAE^2}{4\pi D^3}}$$

Par suite :

$$d_3 = \left(1 - \frac{KAE^2}{4\pi D^3} \right) d_2$$

La variation correspondante de capacité, quand on employait l'appareil comme microphone, était, d'après le § 3.2 ci-dessus :

$$C_o = C \frac{d_2}{D}$$

d'où

$$C_o' = \frac{d_3}{d_2} C_o$$

L'efficacité à circuit ouvert peut donc s'écrire sous la forme suivante :

$$r = \frac{EC_o'}{p C} = \frac{EC_o}{p C} \times \frac{d_3}{d_2}$$

Mais, quand on emploie l'appareil comme microphone, la charge qui s'écoule dans le circuit sous l'effet de la pression p est

$$q = EC_o$$

Par suite, on peut exprimer l'efficacité à circuit ouvert en fonction de la charge qui s'écoule quand on emploie l'appareil comme microphone :

$$r = \frac{q}{p C} \frac{d_3}{d_2}$$

En modifiant l'ordre des facteurs et en introduisant la valeur de d_3/d_2 donné ci-dessus, on obtient :

$$q = \frac{r C p}{1 - \frac{KAE^2}{4\pi D^3}}$$

Ou, en utilisant comme ci-dessus la relation $A = 4 \pi DC$,

$$q = \frac{r C p}{1 - \frac{KCE^2}{D^2}}$$

L'expression qui figure au dénominateur s'est introduite parce qu'on a tenu compte dans l'exposé ci-dessus de l'augmentation de la force d'attraction électrostatique qui a résulté du mouvement du diaphragme. Il est commode de modifier en conséquence la définition de la capacité du microphone, qui devient

$$C' = \frac{C}{1 - (KCE^2/D^2)}$$

On a, en fonction de C' ,

$$q = r C' p \quad \text{unités électrostatiques}$$

Ayant obtenu cette relation entre q et p , pour l'appareil employé comme microphone, le théorème de réciprocité donne immédiatement la formule suivante, dans le cas où l'appareil est employé comme source sonore

$$v = r C' e \quad \text{cm}^3$$

Jusqu'ici on a établi les formules dans le cas de variations lentes de certains paramètres, les autres restant constants. Toutefois les considérations exposées ci-dessus sont compatibles avec l'établissement de ces formules sous forme dynamique, et par suite les grandeurs p , e , v , etc., peuvent être considérées comme des grandeurs complexes $p e^{j\omega t}$ dépendant de la fréquence. Le coefficient K , qui exprime les propriétés mécaniques du diaphragme, comprenant sa raideur et son amortissement, dépendra de la fréquence et, par suite, la capacité dynamique C' représentera la valeur mesurée à la fréquence considérée.

On peut alors continuer à établir les étapes successives de l'étalonnage.

4. Pression produite dans un coupleur fermé

Considérons, conformément à la figure 2, un microphone à condensateur terminé par une chambre fermée, ayant un volume V et contenant un gaz à la pression statique B , habituellement égale à la pression atmosphérique. L'application d'une petite différence de potentiel additionnelle e produit une variation du volume égale à v centimètres cubes, l'expression de v ayant été donnée ci-dessus.

La variation de volume produit une variation de pression p dans le coupleur. Les volumes et les pressions sont reliés par la relation suivante, applicable aux gaz :

$$(B + p)(V + v)^\gamma = BV^\gamma$$

où γ est le rapport de la chaleur spécifique à pression constante à la chaleur spécifique à volume constant. Dans le cas de l'air, $\gamma = 1,41$. L'emploi de cette

relation suppose que la variation de volume se produit adiabatiquement, sans gain ou perte de chaleur. On déduit de cette relation :

$$p = \frac{BV^\gamma}{(V+v)^\gamma} - B = B \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{v}{V}\right)^\gamma} - 1 \right]$$

$$= B \left[1 - \gamma \frac{v}{V} + \text{des termes en } \left(\frac{v}{V}\right)^2 \text{ et puissances plus élevées de } \left(\frac{v}{V}\right) - 1 \right]$$

En négligeant $\frac{v^2}{V^2}$ et les puissances plus élevées de $\frac{v}{V}$, on a $p = -\gamma \frac{B}{V} v$ et puisque $v = r C' e$

$$p = -\frac{\gamma B r C'}{V} e$$

où r est l'efficacité de l'appareil employé comme microphone.

5. Détermination du produit de deux efficacités

Le résultat obtenu ci-dessus permet de déterminer le produit des efficacités de deux microphones. Supposons, d'après la figure 3, que le microphone I est utilisé comme source sonore et qu'il est couplé au microphone II par une chambre de volume V . Une différence de potentiel additionnelle e'_1 , appliquée au microphone produit une pression p dans le coupleur. Ceci produit une différence de potentiel à circuit ouvert e'_2 aux bornes du microphone II. D'après la définition de l'efficacité $e'_2 = r_2 p$.

Mais l'on a

$$p = -\frac{\gamma B r_1 C'_1}{V} e'_1$$

de sorte que

$$e'_2 = -\frac{\gamma B C'_1}{V} r_1 r_2 e'_1 \text{ unités C.G.S.}$$

ou

$$r_1 r_2 = -\frac{V}{\gamma B C'_1} \frac{e'_2}{e'_1} \text{ unités C.G.S.}$$

6. Détermination du rapport de deux efficacités

Conformément à la figure 4, on utilise la même source sonore III pour actionner le microphone I, puis le microphone II, en employant le même coupleur et en appliquant la même force électromotrice e_3 . Le rapport des efficacités des deux microphones est donné par le rapport des tensions de sortie

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{e_1}{e_2}$$

7. Expression des efficacités en unités C.G.S.

On déduit alors les valeurs individuelles des efficacités de leur produit et de leur rapport, ce qui donne :

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= \sqrt{-\frac{V}{\gamma BC'_1} \times \frac{e'_2}{e'_1} \times \frac{e_1}{e_2}} \\ r_2 &= \sqrt{-\frac{V}{\gamma BC'_1} \times \frac{e'_2}{e'_1} \times \frac{e_2}{e_1}} \end{aligned} \right\} \text{unités C.G.S.}$$

(Le signe moins ne présente d'intérêt que si l'on mesure les phases des forces électromotrices.)

8. Expression des efficacités en unités usuelles

Les formules ci-dessus ont été exprimées tout au long en unités C.G.S. Les unités habituelles pour exprimer les efficacités sont des unités hybrides, les unités électriques appartenant au système pratique et les unités mécaniques (longueur, force, etc...) au système C.G.S. Une efficacité s'exprime sur cette base en volts par barye (volts par dyne par centimètre carré). Si le nombre qui exprime une efficacité en unités électrostatiques C.G.S. est r_o le nombre r qui exprime la même efficacité en unités hybrides est

$$r = \frac{c}{10^8} r_o$$

où c est le rapport de l'unité électromagnétique de charge électrique à l'unité électrostatique ($c \simeq 3 \cdot 10^{10}$).

De même, si le nombre qui représente une capacité en unités électrostatiques est C_o , le nombre C qui représente la même capacité en farads est

$$C = \frac{10^9}{c^2} C_o \text{ farads}$$

Les formules du § 7 ci-dessus deviennent alors en unités hybrides

$$r_1 = \frac{c}{10^8} \sqrt{-\frac{V}{\gamma BC'_1} \times \frac{10^9}{c^2} \times \frac{e'_2}{e'_1} \times \frac{e_1}{e_2}}$$

ou

$$r_1 = \sqrt{-\frac{10^{-7} V}{\gamma BC'_1} \times \frac{e'_2}{e'_1} \times \frac{e_1}{e_2}} \text{ volts/barye}$$

et

$$r_2 = \sqrt{\frac{10^{-7} V}{\gamma BC'_1} \times \frac{e'_2}{e'_1} \times \frac{e_2}{e_1}} \text{ volts/barye}$$

ETAPES SUCCESSIVES DE L'ÉTALONNAGE D'UN MICROPHONE A CONDENSATEUR
PAR LA MÉTHODE DE RÉCIPROCITÉ

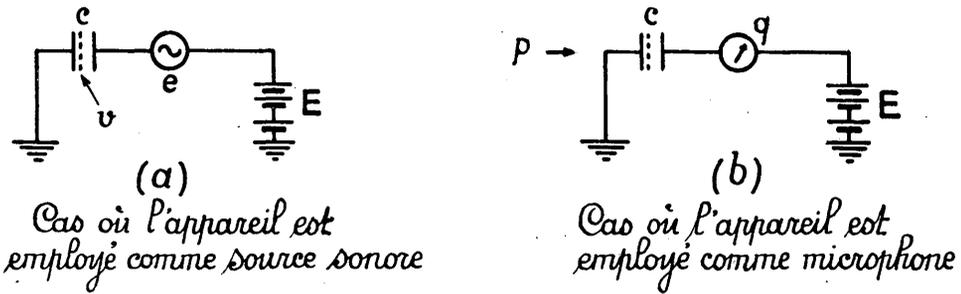


FIGURE 1. — Le théorème de réciprocité

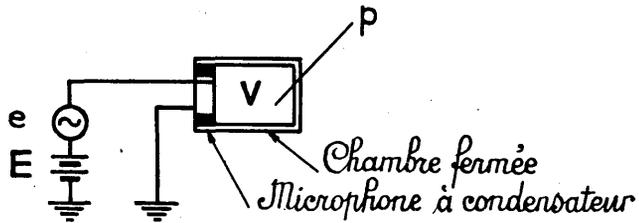


FIGURE 2. — Pression produite dans une chambre fermée

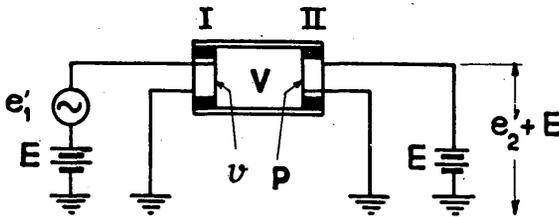


FIGURE 3. — Détermination du produit des efficacités de deux microphones

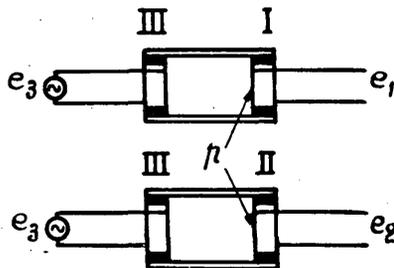


FIGURE 4. — Détermination du rapport des efficacités de deux microphones

On peut remarquer aussi que la formule du § 3.3 donnant la relation entre la variation de volume et la force électromotrice devient en unités hybrides :

$$v = 10^7 r C' e \text{ cm}^3$$

Cette expression mise sous cette forme a été prise comme point de départ dans l'article de R.K. Cook cité ci-dessus.

9. Conclusion

Les formules qui donnent les efficacités des microphones indiquent que la précision des résultats dépend de la mesure de rapports de tensions, du volume intérieur du coupleur, d'une capacité, de la pression atmosphérique ou de la pression d'un gaz autre que l'air, et de la connaissance de la constante γ pour le gaz employé. On peut obtenir toutes ces données par des méthodes directes. On doit cependant tenir compte d'autres considérations physiques, qui sont indiquées dans une certaine mesure par les diverses approximations faites au cours de l'établissement des formules. En particulier les déplacements relatifs du diaphragme, les variations de tension électrique, les variations de pression, etc., doivent être des quantités assez petites pour que les systèmes puissent être considérés comme linéaires. On a aussi omis d'entrer dans le détail de certaines réactions qui se produisent en réalité, telles que le fait que, quand ils sont réunis par un coupleur, les diaphragmes des deux microphones se déplacent. Ces facteurs constituent des limitations aux conditions d'expérience qui sont discutées dans l'article déjà cité de Cook. Dans certaines circonstances, on fait encore d'autres corrections qui n'ont pas encore été publiées. Toutefois, les conditions pratiques de fonctionnement de la plupart des microphones à condensateur sont bien adaptées aux exigences de cette méthode.

ANNEXE 19

TRACÉ DE LA CARACTÉRISTIQUE DE FONCTIONNEMENT D'UN MICROPHONE AUX DIVERSES FRÉQUENCES A L'AIDE DE L'AUDIOGRAPHE

On peut utiliser l'audiographe pour tracer la caractéristique de fonctionnement d'un microphone aux diverses fréquences. Cet appareil comprend un oscillateur et un dispositif enregistreur associés l'un à l'autre. Pour l'enregistrement automatique, le condensateur variable qui commande la fréquence de l'oscillateur est accouplé directement au tambour enregistreur entraîné par le moteur M_1 . La tension de sortie de l'oscillateur est à la fréquence indiquée par la plume qui trace la caractéristique sur le tambour enregistreur. (L'oscillateur est aussi muni d'une commande manuelle indépendante du mécanisme enregistreur, de sorte qu'on peut employer cet oscillateur comme un appareil distinct. En plaçant un commutateur, situé sur le panneau de devant de l'audiographe sur la position « enregistrement » ou sur la position « pas d'enregistrement », on fait fonctionner le dispositif à tambour enregistreur ou la commande manuelle respectivement.)

Quand on se sert du tambour enregistreur la fréquence de l'oscillateur varie continuellement de 30 à 10 000 Hz. L'impédance de sortie de l'oscillateur peut être fixée au choix à 50, 200, 500 ou 5 000 ohms. L'impédance d'entrée de l'enregistreur est de 10 000 mégohms.

Principe de fonctionnement de l'enregistreur (voir la figure 1). — La tension appliquée à l'entrée de l'enregistreur est appliquée, par l'intermédiaire d'un potentiomètre ayant un intervalle de variation de 40 décibels, à un affaiblisseur A_1 qui a une impédance fixe de 50 000 ohms et dont l'affaiblissement peut varier par échelons de un demi-décibel, dans un intervalle comprenant 80 de ces échelons. La tension de sortie de cet affaiblisseur est redressée et on rend le courant ainsi obtenu égal à un courant continu constant, au moyen d'un système à relais qui commande le sens de rotation d'un moteur M_2 qui déplace la plume de l'enregistreur et en même temps fait varier l'affaiblissement de A_1 . Si par exemple la tension appliquée à l'entrée augmente, en conséquence le courant I_1 devient supérieur à I_2 et le moteur tourne dans un sens tel que la plume de l'enregistreur indique une valeur plus élevée sur la feuille de papier graduée portée par le tambour enregistreur, et que l'affaiblissement de A_1 augmente. Alors I_1 décroît jusqu'à devenir inférieur

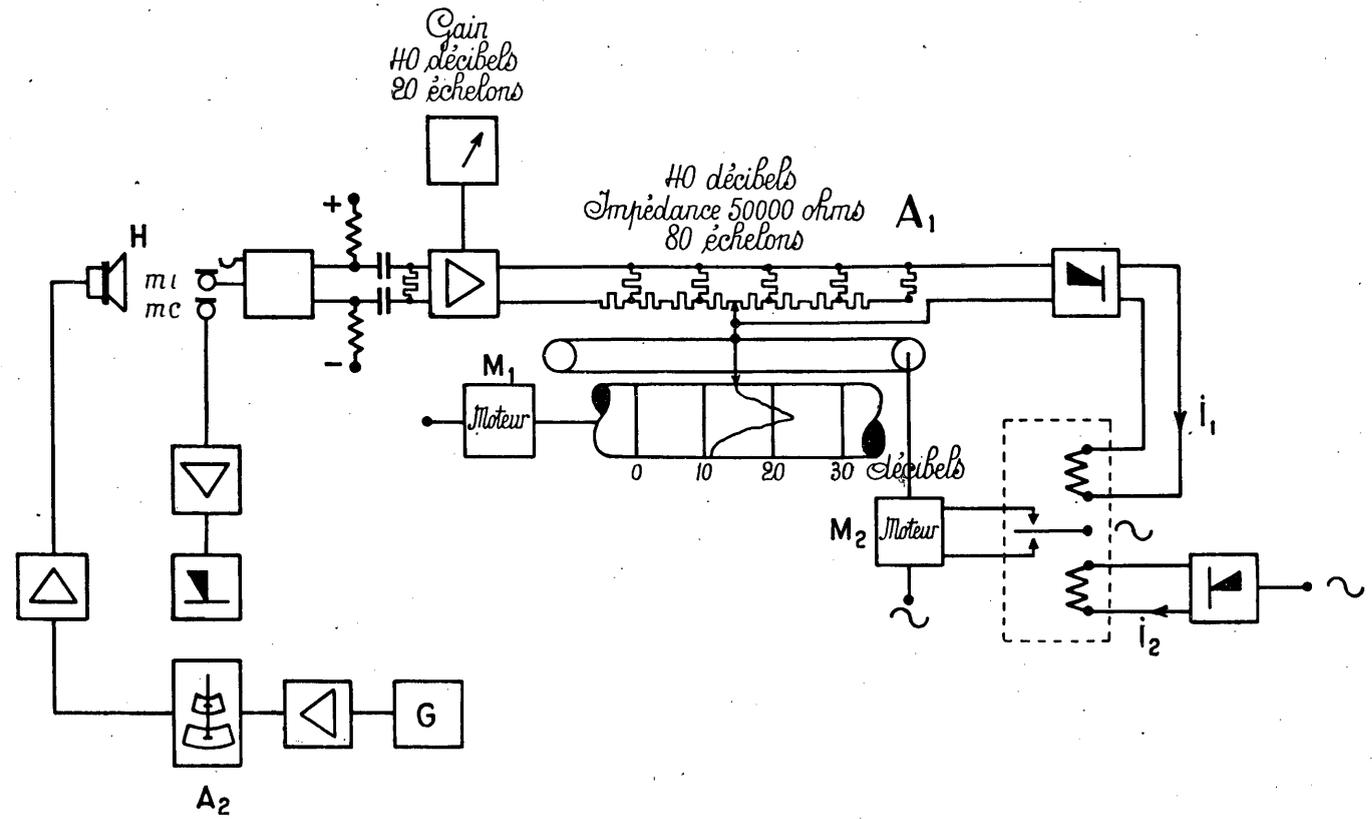


FIGURE 1. — Schéma de l'audiographe

à I_2 , et le sens de rotation du moteur M_2 change. Par suite, la plume de l'enregistreur trace une courbe formée de zigzags, d'amplitude égale à un demi-décibel, dont la courbe moyenne est la caractéristique désirée.

Maintien d'une pression acoustique constante. — La tension de sortie de l'oscillateur G est appliquée au haut-parleur H par l'intermédiaire d'un amplificateur de tension, d'un dispositif affaiblisseur spécial A_2 et d'un amplificateur de puissance. Ce haut-parleur est placé dans une pièce isolée acoustiquement et exempte d'échos, avec un microphone étalon *mc* et le microphone essayé *mi*. Ces deux microphones sont placés l'un près de l'autre en un point de l'axe de symétrie du haut-parleur, à 60 centimètres devant l'abat-son (baffle). Le microphone étalon permet d'obtenir une pression acoustique constante, ce qui est réalisé de la façon suivante.

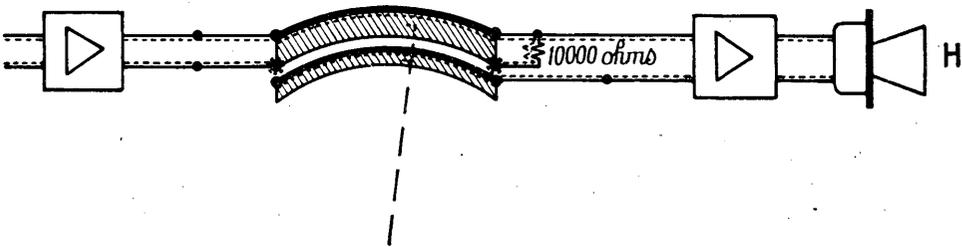


FIGURE 2. — *Détail du dispositif affaiblisseur A_2 destiné à stabiliser la pression acoustique produite par le haut-parleur*

La tension de sortie du microphone étalon est amplifiée et redressée, et le courant continu ainsi obtenu alimente un milliampèremètre qui constitue le dispositif affaiblisseur A_2 . L'aiguille de cet instrument est munie d'un arc de platine qui trempe dans deux récipients séparés pleins d'eau ordinaire (voir la figure 2). Les bornes d'entrée et de sortie sont connectées de telle façon que ce dispositif fonctionne comme un potentiomètre de grande résistance. Une déviation du milliampèremètre fait diminuer la tension de sortie. Si par exemple la pression acoustique augmente, la déviation du milliampèremètre augmente et l'intensité acoustique du son émis par le haut-parleur diminue en conséquence. Il résulte de ce procédé de stabilisation que le haut-parleur produit une pression acoustique, au point de mesure, qui dépend de la caractéristique de fonctionnement du microphone étalon aux diverses fréquences. On emploie comme étalon un microphone piézoélectrique, pratiquement exempt de distorsion d'affaiblissement, et par conséquent la pression acoustique obtenue est parfaitement constante. Une valeur normale pour cette pression acoustique est de 10 baryes (dynes par centimètre carré) au point de mesure, dans le champ acoustique non perturbé. Le dispositif de stabilisation de la pression acoustique décrit ci-dessus fonctionne d'une façon satisfaisante dans la bande des fréquences de 100 à 4 500 Hz.

ANNEXE 20

DISTORSION DE NON-LINÉARITÉ DES MICROPHONES A CHARBON

(Contribution de l'Administration des téléphones
de la République Fédérale d'Allemagne)

L'Administration allemande a entrepris autrefois des recherches approfondies sur la question de la distorsion de non-linéarité des microphones téléphoniques *. Il résulte de ces recherches que deux causes engendrent la distorsion de non-linéarité.

1. La raideur de la grenaille de charbon dépend de l'amplitude des vibrations et
2. La résistance de contact des granules de charbon dépend de la pression de contact.

La variation de la raideur en fonction de l'amplitude des vibrations est d'une importance déterminante pour l'effet de non-linéarité du microphone à charbon. Elle donne naissance à des harmoniques et, le cas échéant, à des sous-harmoniques. Le premier harmonique se présente d'une manière très marquée à la demi-fréquence au tiers de la fréquence de résonance. Au moment où l'amplitude de la fréquence fondamentale arrive à une certaine valeur, il se peut que des sous-harmoniques puissent également se produire et cela d'une manière très marquée dans le cas d'une fréquence qui est à peu près égale au double de la fréquence de résonance.

En outre, la variation de la raideur en fonction de l'amplitude entraîne, à mesure que l'amplitude croît, une forte décroissance de la fréquence et un changement de l'efficacité du microphone, c'est-à-dire que, d'abord la sensibilité du microphone croît en même temps que la pression acoustique et ensuite elle décroît quand la pression acoustique atteint des valeurs élevées.

Dans le cas où l'on mesure le coefficient de distorsion de non-linéarité d'un microphone en fonction du déplacement de la membrane, on reconnaît que celui-ci est à peu près analogue aux différentes fréquences, si l'on fait abstraction de grandes amplitudes de déplacement de la membrane. Ceci montre que la réaction

* K. BRAUN, *T.F.T.*, Band 27 (1938), pages 395-404. — K. BRAUN, *T.F.T.*, Band 28 (1939), pages 115-120.

non-linéaire du microphone est essentiellement déterminée par le déplacement de la membrane.

Si l'on applique au microphone deux sons simultanément, au lieu d'un seul son, il se produit non seulement des harmoniques mais aussi un spectre de fréquences additives et différentielles. Les amplitudes des sons différentiels et des sons additifs dépendent de l'écart des fréquences des deux sons appliqués. Le premier son différentiel des deux sons excitants se présente le plus fortement dans le cas où la différence des fréquences de ces deux sons est à peu près égale à la fréquence de résonance. Le son additif se présente pareillement d'une manière très marquée dans le cas où la somme des fréquences de deux sons est égale à la fréquence de résonance.

En dehors de l'apparition de ce spectre, il se présente encore la variation de l'efficacité pour les deux sons en fonction des amplitudes des deux composantes fondamentales, c'est-à-dire que l'efficacité pour un son change au moment où l'on applique un deuxième son.

La distorsion de non-linéarité d'un récepteur téléphonique de bonne qualité peut être négligée en comparaison de celle du microphone. C'est pourquoi on peut se borner à marquer seulement les caractéristiques de la distorsion de non-linéarité du microphone.

Cependant, l'Administration des téléphones de la République fédérale d'Allemagne a continué les recherches sur des microphones à charbon. Il résulte de ces recherches que si l'on applique des sons au microphone, des tensions de bruit se présentent en outre des harmoniques et des fréquences différentielles. On peut observer ces tensions additionnelles avec un oscillographe cathodique si l'on trace la courbe caractéristique d'un microphone en faisant agir un son pur sur le microphone. Dans le cas de microphone instables, la courbe caractéristique ne reste pas immobile ; en outre, elle se présente d'une manière inconstante et elle présente des effets de flottement. En écoutant en même temps, on trouve que ces phénomènes d'instabilité ont une forte influence nuisible sur la qualité du microphone. Le montage comportant un oscillographe cathodique n'est pas très convenable pour des mesures numériques.

La méthode de mesure de la tension parasite de modulation indiquée par M. K. Braun se prête à cette fin. On applique à la capsule microphonique un son de fréquence variable entre 200 et 4 000 Hz, remplaçant le spectre de la voix, et on fait la mesure, à la sortie d'un filtre passe-haut dont la fréquence de coupure est de 5 000 Hz, des composantes non-linéaires et des tensions parasites se présentant en dehors du spectre du son de fréquence variable et excitées additionnellement. En utilisant cette méthode et en utilisant un voltmètre approprié, par exemple un psophomètre, on peut observer facilement les variations du microphone à charbon qui se présentent souvent d'une manière spontanée. Cette méthode est particulièrement convenable dans le cas de mesures d'un grand nombre de microphones.

Il s'ensuit des résultats de mesure, que, en général, la tension parasite de modulation augmente quand la sensibilité du microphone à charbon croît. Pour obtenir un rapport entre la tension alternative du microphone et la tension parasite de modulation, il est préférable de faire apparaître l'écart de tension parasite de modulation qui est la différence des valeurs logarithmiques des deux tensions indiquées. Cette valeur peut varier entre environ 2 et 4 népers, selon la qualité de fabrication et la durée d'utilisation. Etant donné que la sensibilité du micro-

phone ne varie pas trop, par suite des tolérances admises sur l'équivalent de référence à l'émission, il suffit, en général, de déterminer une valeur maximum admissible pour la tension parasite de modulation. Il résulte de mesures, vérifiées par des essais subjectifs, que la valeur d'environ 20 mV peut être admissible pour une tension parasite de modulation. On arrive à cette valeur si l'on mesure la tension à la sortie d'un filtre passe-haut dont la fréquence de coupure est de 5 000 Hz.

L'Administration des téléphones de la République fédérale d'Allemagne peut donner, en s'appuyant sur ces recherches, les réponses suivantes :

a) Pour indiquer l'instabilité des caractéristiques du microphone téléphonique, la distorsion de non-linéarité, à elle seule, n'est pas satisfaisante parce qu'elle ne tient pas compte du bruit de service du microphone. Pour déterminer la distorsion tout entière, c'est-à-dire la distorsion de non-linéarité et la distorsion instable, il est recommandable de mesurer la tension parasite de modulation.

b) On peut mesurer la tension parasite de modulation en appliquant au microphone un son de fréquence variable entre 200 et 2 400 Hz, remplaçant le spectre de la voix, et en mesurant une partie des oscillations excitées additionnellement, à travers un filtre approprié, par exemple passe-haut dont la fréquence de coupure est de 5 000 Hz.

c) Des tensions parasites de modulation s'élevant jusqu'à environ 20 mV n'affectent pas décisivement la qualité de transmission d'un microphone à charbon.

APPENDICE

Résultats d'essais effectués par l'Administration des téléphones de la République fédérale d'Allemagne au sujet de la distorsion de non-linéarité d'un appareil téléphonique d'abonné

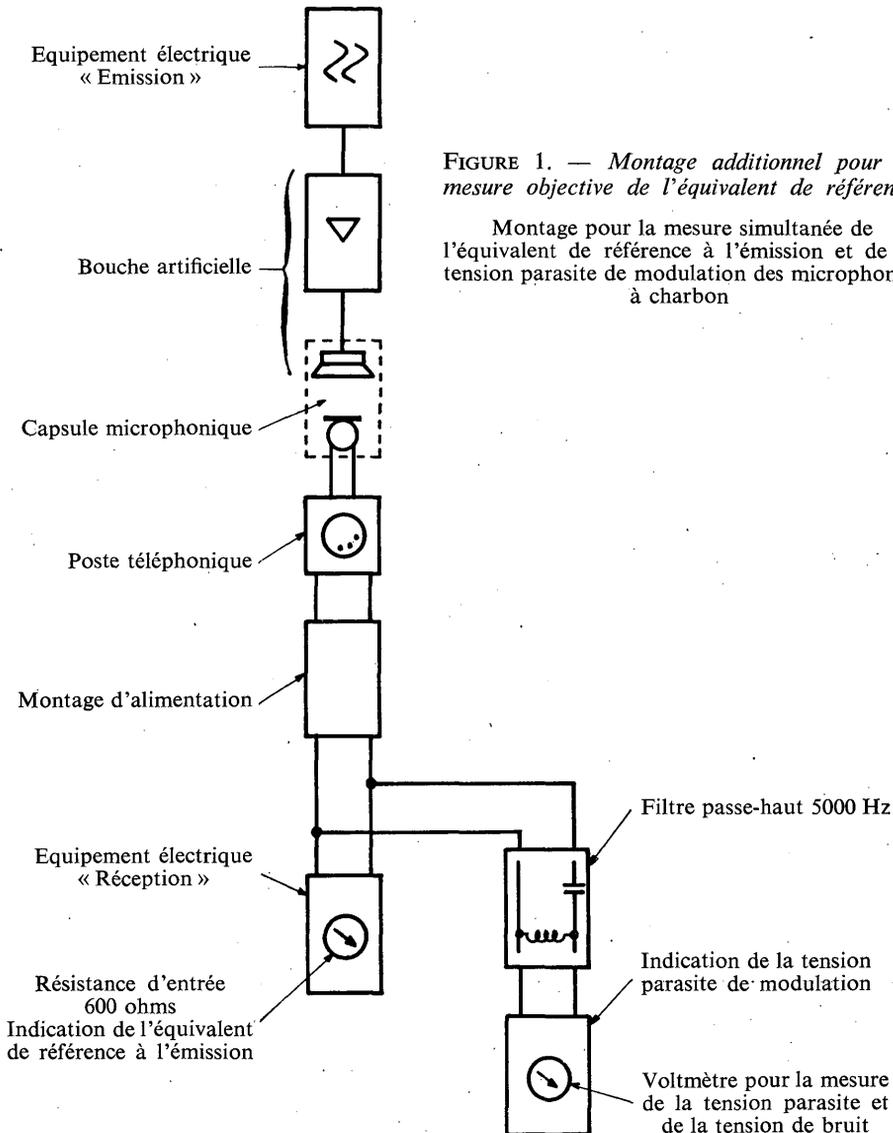
La méthode utilisée dans ces essais est représentée schématiquement sur la figure 1.

On applique à la capsule microphonique un son de fréquence variable entre 200 et 4000 Hz et l'on mesure, à la sortie d'un filtre passe-haut dont la fréquence de coupure est de 5000 Hz (voir figure 2), comme tension parasite de modulation, les tensions supplémentaires se présentant en dehors de la bande des fréquences du son de fréquence variable. La figure 3 montre la variation de la tension de modulation, en fonction du nombre de conversations, pour deux types de microphones différents. A titre de comparaison, on a aussi indiqué, sur cette figure, pour un type de microphone, la tension de bruit au repos, qui est beaucoup plus petite que la tension parasite de modulation. La figure 4 montre la répartition statistique de la tension parasite de modulation pour des microphones presque neufs et pour des microphones qui ont été beaucoup utilisés.

Les recherches ont encore été élargies en ce sens que le bruit en service a été mesuré comme tension parasite de modulation, dans la bande des fréquences transmises par le microphone, en fonction de la fréquence excitatrice. Dans ce but, le microphone, sans embouchure, était excité par un son sinusoïdal d'environ 11 baryes. Pour éliminer la fréquence excitatrice f et les harmoniques produits dans le microphone, on avait disposé, à la sortie du pont d'alimentation de l'appareil téléphonique, un filtre de bande qui ne laissait passer que les parties de la tension de bruit de service entre f et $2f$. Cette tension a été mesurée comme tension parasite et rapportée à la largeur de bande de 400 Hz. La figure 5 montre les résultats obtenus pour deux microphones différents. A titre de comparaison, on a aussi représenté les résultats obtenus avec un mauvais microphone (capsule microphonique 1). La courbe continue représente la caractéristique « efficacité-fréquence » du microphone ; elle indique la tension utile produite lorsque le microphone est excité avec une pression

acoustique constante en fonction de la fréquence. La courbe formée de traits représente la tension parasite de modulation produite par un son sinusoïdal. Elle a fondamentalement la même allure que celle de la caractéristique « efficacité-fréquence », mais les distorsions sont ici beaucoup plus grandes. A proximité de la fréquence de résonance, l'écart entre la tension utile et la tension parasite de modulation produite par un son sinusoïdal peut être très petit si le microphone est mauvais. Le bruit peut alors représenter une forte perturbation. Des courbes de résonance très marquées peuvent, pour cette raison, en cas d'emploi d'un microphone à charbon, exercer une influence nuisible non seulement sur la caractéristique « efficacité-fréquence », mais aussi sur celle de la tension de bruit.

A titre de comparaison, on a aussi mesuré le bruit au repos dans toute la bande de fréquence de l'instrument de mesure de la tension parasite. Étant donné que la tension de bruit au repos varie, suivant la qualité du microphone à charbon, entre une valeur de base et une valeur de pointe, les deux valeurs ont été enregistrées ; l'écart entre ces deux



valeurs est d'autant plus petit que le microphone est plus stable. En outre, on a enregistré aussi la tension parasite de modulation, au-dessus de 5000 Hz, mesurée avec un son de fréquence variable entre 200 et 4000 Hz. Pour les deux microphones, l'écart entre la tension de bruit au repos maximum et la tension parasite de modulation est d'environ 20 décibels. La tension parasite de modulation pourrait donc être un critérium pour la tension de bruit au repos.

La partie de la tension de bruit en service tombant dans la bande des fréquences transmises par microphone est déterminante pour les réductions de la netteté. Afin de pouvoir évaluer cette partie, on mesura, pour la tension de bruit au repos maximum, qui correspond bien à la tension parasite de modulation, les parties de la tension parasite pour la bande de 300 et 3400 Hz et pour la bande des fréquences supérieures à 5000 Hz. Le rapport de ces deux parties de tension dépend de l'allure du spectre du bruit. Plus le microphone est instable, plus les basses fréquences sont représentées. En général, la tension parasite de modulation pour la bande de fréquence de 300 à 3400 Hz est à peu près 1,3 à 4 fois plus grande que la tension parasite de modulation au-dessus de 5000 Hz, mais elle peut encore avoir des valeurs beaucoup plus défavorables.

Néanmoins, étant donné que, lorsqu'on applique un son au microphone, l'écart entre la tension utile et la tension parasite de modulation au-dessus de 5000 Hz est d'environ 2 à 4 népers, l'écart entre la parole et la tension de bruit en service peut, dans le cas de mauvais microphones, être inférieur à 2 népers, ce qui nuit encore beaucoup à la netteté. Dans le cas de microphones à charbon qui ont été beaucoup utilisés, la perte de netteté peut, par conséquent, être partiellement due aussi à la tension de bruit en service.

Il est donc important de déterminer la tension de bruit en service du microphone à charbon et de fixer pour celle-ci des valeurs maxima. La méthode utilisant la tension parasite de modulation qui est indiquée ci-dessus convient particulièrement pour cette application.

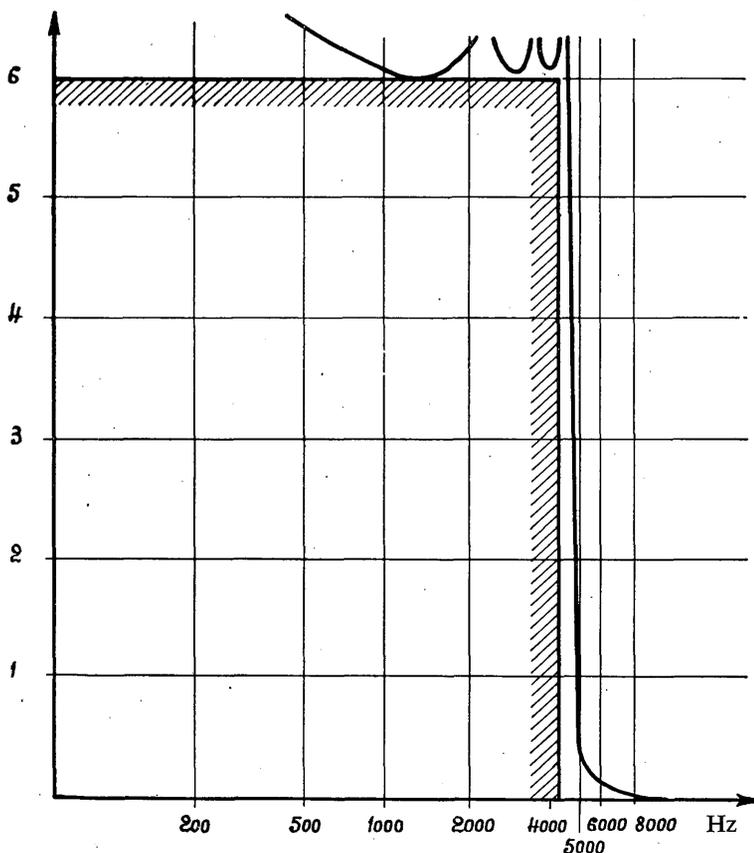


FIGURE 2. — Affaiblissement composite du filtre passe-haut de 5000 Hz

$$\alpha_{\text{pert}} = \ln \frac{U_{\text{parole}}}{U_{\text{pert}}}$$

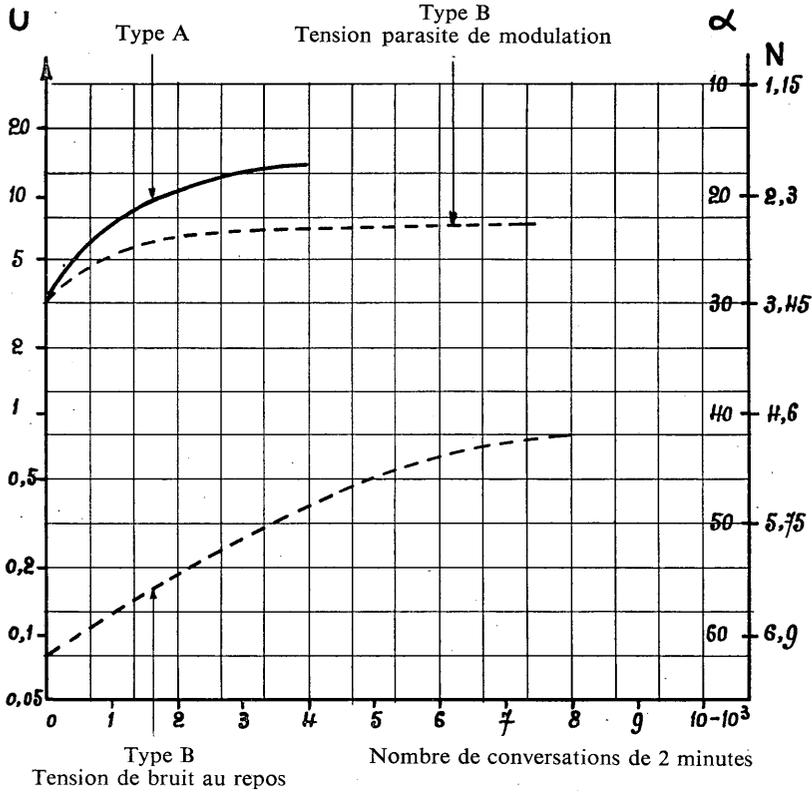


FIGURE 3. — Tension parasite de modulation et tension de bruit au repos

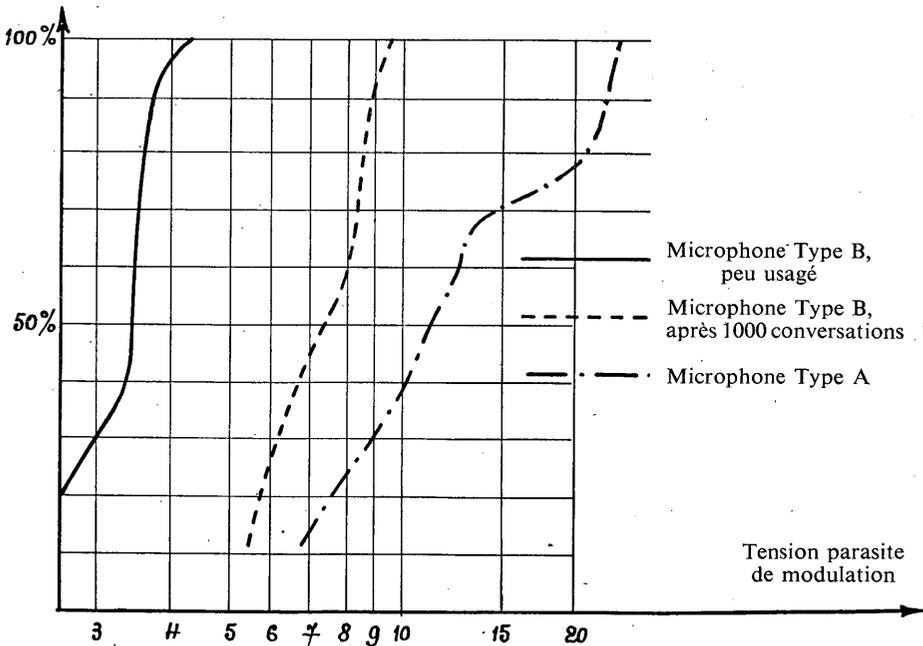
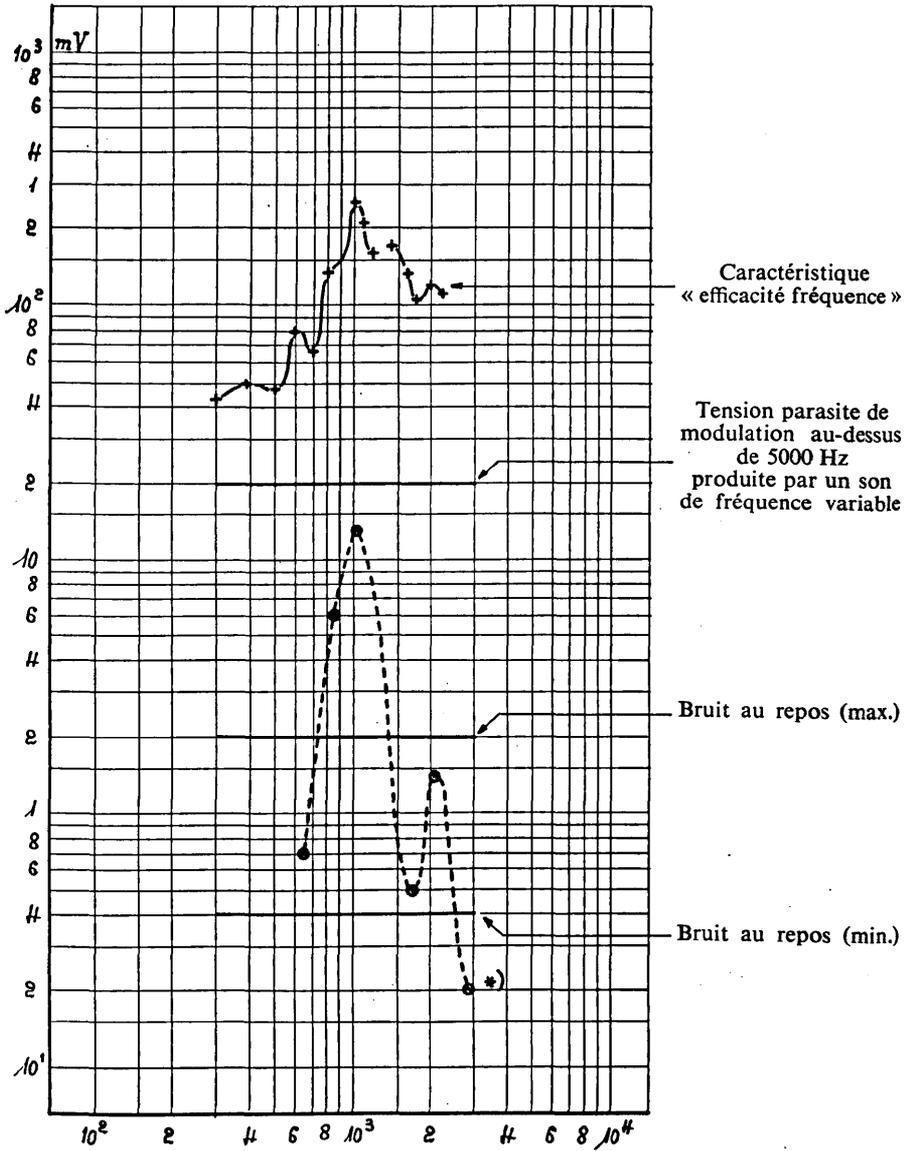
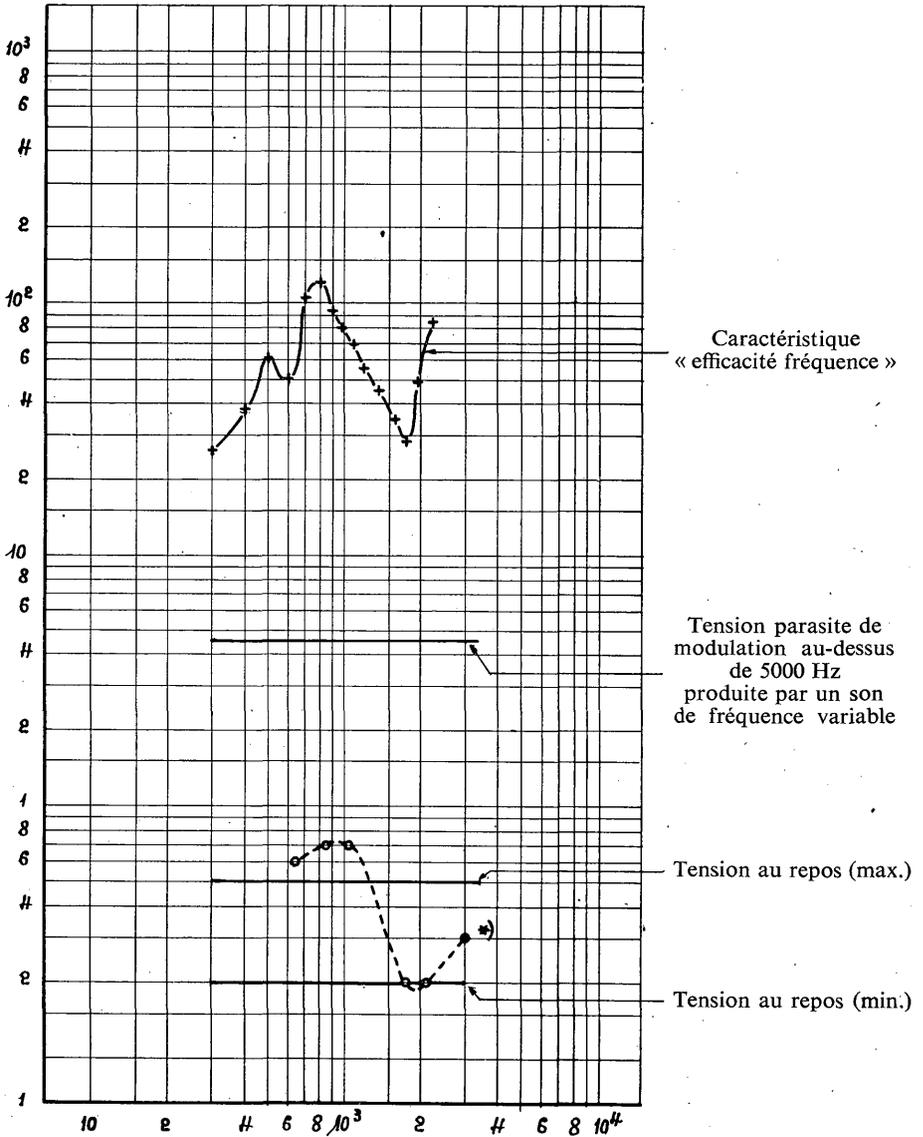


FIGURE 4. — Courbe de distribution statistique de la tension parasite de modulation de microphones téléphoniques, mesurée à la sortie de l'appareil



* Décuple de la tension parasite de modulation produite par un son sinusoïdal, rapportée à une bande d'une largeur de 400 Hz entre le son et l'octave du son

FIGURE 5 a. — Capsule microphonique 1



* Décuple de la tension parasite de modulation produite par un son sinusoïdal, rapportée à une bande d'une largeur de 400 Hz entre le son et l'octave du son

FIGURE 5 b. — Capsule microphonique 2

**APPAREIL POUR LA MESURE OBJECTIVE
DES ÉQUIVALENTS DE RÉFÉRENCE
UTILISÉ PAR L'ADMINISTRATION DES TÉLÉPHONES
DE LA RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE D'ALLEMAGNE**

Cet appareil sert à la mesure objective des équivalents de référence (1). Pour les mesures, les organes naturels de la parole et de l'ouïe sont remplacés par une bouche artificielle et une oreille artificielle.

La méthode de mesure objective peut être appliquée de manière relativement simple si l'on utilise, comme voix artificielle, au lieu d'un mélange de fréquences, un son sinusoïdal hululé, c'est-à-dire si l'on ne fait pas agir en même temps les composantes du spectre acoustique, mais qu'on les fait agir l'une après l'autre sur le transducteur à mesurer et sur l'instrument indicateur.

De cette manière, il est possible d'indiquer la racine carrée se rapportant à la force de la parole en mesurant successivement les racines carrées pour les différentes fréquences du son hululé, à l'aide d'un instrument indicateur à intégration lente. En remplacement de la bouche humaine et de l'oreille humaine, on prévoit une bouche artificielle et une oreille artificielle qui reproduisent fidèlement les propriétés acoustiques des organes humains de la parole et de l'ouïe.

L'appareil pour la mesure objective des équivalents de référence (2) se compose de quatre parties fondamentales :

1. Le système émetteur électrique comme générateur de la parole,
2. Le système récepteur électrique donnant une indication d'après une loi d'addition des racines carrées,
3. La bouche artificielle pour le rayonnement acoustique,
4. L'oreille artificielle pour la réception acoustique.

1. *Le système émetteur électrique* produit un son hululé qui balaie en une seconde aller et retour les fréquences de 200 à 4 000 Hz. La tension de sortie est, indépendamment de la fréquence, 285 mV, aux bornes d'une résistance interne de 600 ohms, ce qui correspond à un niveau absolu de tension de $-1 N$ et correspond, pour ainsi dire, à la tension moyenne de la parole à la sortie du système de référence pour la transmission téléphonique. Pour vérifier la distorsion « amplitude-ampli-

tude » du transducteur soumis à l'épreuve, par exemple d'un microphone à charbon, on peut faire varier le niveau d'émission de $\pm 1 N$. La variation d'amplitude du son hululé, en fonction du temps, correspond au spectre acoustique de la voix humaine.

2. *Le système récepteur électrique* évalue chaque élément de tension reçu d'une composante de fréquence d'après une loi de proportionnalité à la racine carrée. La lecture se fait directement en népers sur l'échelle de l'instrument récepteur. On peut changer l'intervalle de mesure par échelons de $1 N$ en ajoutant ou supprimant des affaiblissements fixes.

3. *La bouche artificielle* se compose d'un système de haut-parleur très stable à très petit pavillon. A une distance d'environ 1 centimètre devant le pavillon se trouve un anneau représentant les lèvres, à partir duquel la variation (en fonction de la distance) de la pression acoustique rayonnée correspond à peu près à celle de la bouche humaine. La puissance qui produit le fonctionnement du haut-parleur est fournie par un amplificateur spécial qui contient en même temps les compensateurs de distorsion d'affaiblissement. La caractéristique « efficacité/fréquence » est uniforme à $\pm 0,35 N$ près entre 200 et 4 000 Hz lorsqu'on mesure cette caractéristique « efficacité/fréquence » avec le microphone du système de référence pour la transmission téléphonique. L'efficacité moyenne de la bouche artificielle avec amplificateur est de 37,6 baryes par volt, de sorte que, pour la tension d'émission normale de 285 mV appliquée à l'impédance d'entrée de 600 ohms de l'amplificateur, il apparaît sur le diaphragme du microphone du système de référence pour la transmission téléphonique, une pression acoustique d'environ 11 baryes (exactement 10,75).

Afin de permettre de régler la position exacte de l'embouchure du combiné par rapport à la bouche artificielle, on fixe le pavillon du récepteur du combiné de façon à ce qu'il corresponde aux dimensions prescrites par le C.C.I.F. pour une tête normale. Il est possible de régler dans la position A l'écartement pour les mesures d'équivalent de référence correspondant aux dimensions d'une tête normale américaine et, dans la position E, l'écartement correspondant aux dimensions d'une tête normale européenne pour les mesures de l'A.R.A.E.N. (voir *Livre Vert* du C.C.I.F., tome IV, pages 146 à 151).

Pour des vérifications rapides des capsules microphoniques, on a prévu un dispositif interchangeable qui remplace l'embouchure du combiné.

4. *L'oreille artificielle* se compose d'une cavité qui représente l'oreille humaine externe, d'un microphone de mesure à condensateur et d'un amplificateur microphonique. La cavité a pour but de représenter l'impédance d'entrée de l'oreille humaine quand on utilise le récepteur téléphonique appliqué à l'oreille. Afin que cette condition puisse être remplie pour des pavillons de différents types, la surface de l'oreille artificielle doit être aménagée de manière appropriée. Pour des fréquences jusqu'à environ 1 000 Hz, il suffit de fixer la résistance acoustique par le volume de la chambre de pression. Il a été constaté qu'un volume d'environ 3 cm³ pour l'oreille artificielle correspond bien à celui de l'oreille humaine. A de plus hautes fréquences, la forme et l'affaiblissement acoustique de la chambre de pression jouent aussi un rôle pour représenter la résistance acoustique de l'oreille.

La surface d'appui est conique afin de permettre une adaptation parfaite des différents pavillons de récepteurs téléphoniques. La cavité se compose d'un tube cylindrique à l'extrémité duquel on mesure la pression acoustique avec un petit microphone à condensateur correspondant au tympan. Pour représenter les pertes, 16 canaux d'affaiblissement, de différentes longueurs, sont disposés à l'extrémité. L'efficacité du microphone à condensateur avec son amplificateur microphonique, est de 26,6 millivolts par barye si l'amplificateur est terminé par une résistance de 600 ohms. Elle est pratiquement indépendante de la fréquence entre 200 et 4 000 Hz.

Pour mesurer les capsules réceptrices on a créé un dispositif spécial qui contient, outre la cavité, le pavillon usuel. Tout le support peut être simplement retiré du microphone de mesure et remplacé, pour le contrôle de la bouche artificielle, par la cavité normale ou l'embouchure du système de référence pour la transmission téléphonique.

Pour le contrôle des capsules microphoniques et réceptrices, on a encore prévu un panneau central de commande qui représente les montages de postes d'abonnés et de central les plus usuels, et réunit, dans un panneau de commande, les quatre appareils fondamentaux avec les montages de central et d'appareils d'abonnés et le commutateur pour effectuer les différentes mesures et les étalonnages. Les tensions d'alimentation nécessaires, entre 24 et 60 V sont fournies par un appareil d'alimentation par le secteur. Le courant d'alimentation et la tension sont indiqués par un instrument placé sur le panneau de commande. Cette indication permet d'évaluer la résistance des microphones à charbon. La stabilité des capsules réceptrices peut être contrôlée par inversion des pôles de la tension d'alimentation. Dans ce cas, la membrane reçoit un choc magnétique.

Les microphones à charbon ne sont pas stables et accusent de fortes distorsions de non-linéarité et de forts bruits microphoniques qui réduisent la qualité de transmission. L'importance de ces perturbations dépend de la construction du microphone, de la qualité de la grenaille de charbon et de la qualité de la fabrication. En conséquence, il faut faire attention à ce que les distorsions instables et les bruits microphoniques restent dans les limites admises. Dans ce but, on a introduit l'indication de la « tension parasite de modulation ». Dans cette méthode, les fréquences produites par le son hululé et se trouvant au-dessus de 5 000 Hz sont indiquées, en même temps que l'on mesure l'équivalent de référence, par un voltmètre convenable (psophomètre) en passant par un filtre passe-haut qui élimine le son hululé. La tension indiquée est alors un indice pour caractériser la distorsion et le bruit microphonique.

En outre, il est aussi possible de brancher un *hypsoscope* montrant la caractéristique « efficacité/fréquence » du microphone ou du récepteur. Ces mesures supplémentaires peuvent avoir lieu en même temps que la mesure objective de l'équivalent de référence. De cette manière, il est possible de contrôler tous les facteurs qui peuvent nuire à la netteté, donc rendre les A.E.N. plus mauvais. Le point principal reste cependant la mesure objective de l'équivalent de référence. En comparaison des mesures subjectives des équivalents de référence, la durée de mesure se réduit à quelques secondes et l'incertitude sur la valeur mesurée à $\pm 0,1 N$. Les valeurs indiquées concordent donc très bien avec les valeurs obtenues par des mesures subjectives. Le schéma ci-après montre la construction de l'appareil pour la mesure objective des équivalents de référence.

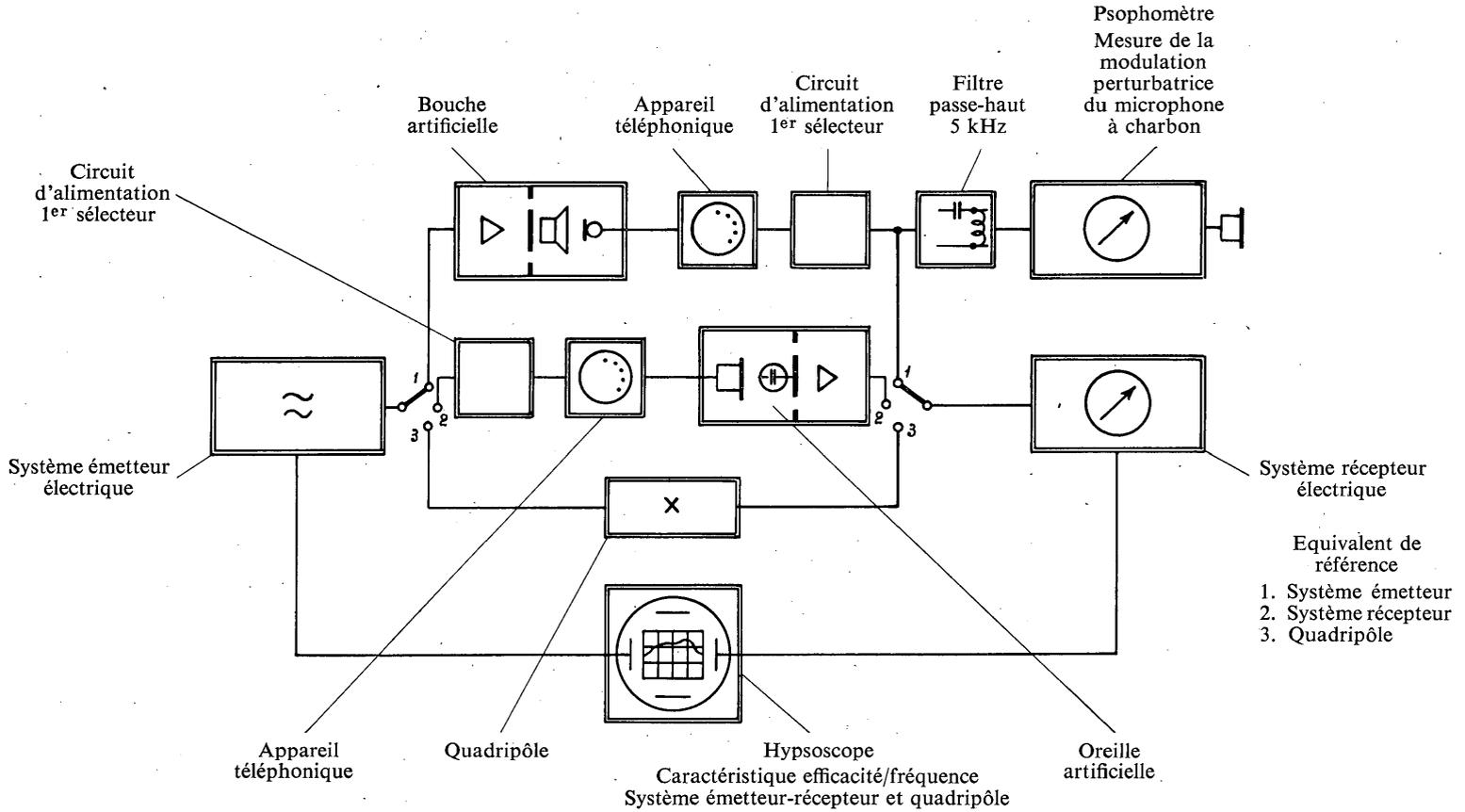


Schéma de principe de l'appareil pour la mesure objective des équivalents de référence

Exécution d'une mesure

Pour mesurer l'équivalent de référence à l'émission on amène les deux commutateurs du schéma dans la position 1. De ce fait, le système émetteur électrique est relié à la bouche artificielle. On module par la voix artificielle le microphone téléphonique et l'on mesure, au moyen du système récepteur électrique, la tension produite à la sortie du circuit d'alimentation, ce qui donne l'équivalent de référence à l'émission. En même temps, on mesure, à la sortie du filtre passe-haut de 5 kHz la tension parasite de modulation au moyen du psophomètre.

Pour mesurer l'équivalent de référence à la réception, on amène dans la position 2 les deux commutateurs du schéma.

Le récepteur de l'appareil téléphonique est excité électriquement par le circuit d'alimentation et la pression acoustique produite de cette manière dans l'oreille artificielle est mesurée à l'aide du microphone de mesure à condensateur et du système récepteur électrique, ce qui donne l'équivalent de référence à la réception.

Dans la position 3 des deux commutateurs, on peut mesurer l'équivalent de référence d'un quadripôle. Il est naturellement possible aussi de mesurer l'équivalent de référence d'une liaison complète en modulant par la voix de la bouche artificielle le microphone téléphonique à l'origine de la liaison et en mesurant à l'extrémité de liaison, au moyen de l'oreille artificielle, la pression acoustique reçue. Toutefois, de telles mesures ne sont à considérer que pour des recherches d'ordre fondamental.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) K. BRAUN, *Telegraphen-Fernsprech und Funk-Technik*, 29 (1940), pp. 223 à 227.
- (2) K. BRAUN et H. KOSCHEL, *Fernmeldetechnische Zeitschrift*, 5 (1952), p. 447.

ANNEXE 22

APPAREIL POUR LA MESURE OBJECTIVE DES ÉQUIVALENTS DE RÉFÉRENCE UTILISÉ PAR L'ADMINISTRATION SUISSE DES TÉLÉPHONES

L'Administration suisse des téléphones détermine l'équivalent de référence uniquement d'après des mesures objectives.

On peut démontrer que l'oreille humaine apprécie, de manière générale, l'intensité acoustique des diverses fréquences de la voix selon une loi proportionnelle à la racine carrée. Cette constatation sert à l'établissement de méthodes de mesure relativement simples que nous décrivons ci-après sans entrer dans des considérations théoriques.

1. Détermination de l'équivalent de référence d'après la courbe de réponse du système de transmission

La caractéristique de fréquence du système de transmission est mesurée selon une méthode mentionnée dans l'Annexe 10 du Livre d'annexes au tome IV du *Livre Vert* et reportée sur le graphique que représente la figure 1. L'axe des amplitudes du graphique tient compte de la loi de la racine, alors que l'axe de la fréquence met en évidence, par une extension correspondante, les bandes de fréquences les plus occupées par la voix. Il faut inscrire la caractéristique de fréquence selon un système d'étalonnage existant ou selon un niveau fixé théoriquement, de telle manière que les valeurs mesurées de l'équivalent de référence soient rapportées effectivement à celles du S.F.E.R.T. Il est nécessaire de mesurer les microphones à charbon dans les mêmes conditions de pression acoustique et de position que celles du S.F.E.R.T.

2. Mesure directe de l'équivalent de référence au moyen du système de référence

La mesure directe se fait de manière analogue à la méthode graphique. Les capsules microphoniques et les capsules réceptrices sont insérées dans un circuit de mesure selon les figures 13 et 16 de l'Annexe 10 du Livre d'annexes au tome IV du *Livre Vert*. La source est un oscillateur hétérodyne, dont la tension de sortie est indépendante de la fréquence et qui, entraîné par un moteur, balaie environ 1 fois par seconde, en avant et en arrière, la bande de fréquences de 200 à 5 000 Hz.

Les plaques du condensateur rotatif ont une forme spéciale grâce à laquelle on obtient la courbe de fréquence représentée dans l'axe des abscisses du graphique.

En parallèle avec l'hypsoscope (figures 13 et 16 de l'Annexe 10 du Livre d'annexes au tome IV du *Livre Vert*) est connecté l'appareil de mesure de l'équivalent de référence, qui évalue l'intensité acoustique par rapport à l'ouïe ; l'instrument indicateur reçoit un courant qui varie proportionnellement à la racine carrée de la tension d'entrée de l'appareil. L'instrument possède une constante de temps relativement grande par rapport à la période du son hululé et permet la lecture directe de l'équivalent de référence sur l'échelle graduée en népers.

3. Contrôles en grandes séries de microphones à charbon et de récepteurs

Pour le contrôle en série des récepteurs et des microphones à charbon, on dispose d'un appareil à contrôler les capsules, spécialement conçu à cet effet, mais qui ne permet que de mesurer nos capsules normales.

Les figures 2 et 3 représentent respectivement le schéma et un croquis de l'appareil au moyen duquel on peut effectuer les mesures suivantes :

- Equivalent de référence des capsules microphoniques et réceptrices rapporté à nos postes d'abonné (mesuré d'après le principe décrit sous point 2),
- Contrôle de la caractéristique de fréquence, dont les écarts doivent être compris dans les limites d'un gabarit placé devant l'écran du tube à rayons cathodiques,
- Contrôle du centrage de l'ancre des capsules réceptrices. A cet effet le récepteur est alimenté par une tension sinusoïdale de 500 Hz. On superpose à cette tension un courant continu à travers le récepteur dont le sens peut être commuté. Un contrôle d'écoute subjectif montre si le facteur de distorsion est petit et si le centrage du système entraîneur de la membrane est bon,
- Mesure de la résistance en courant continu des microphones à charbon,
- Mesure de la modulation perturbatrice. Les microphones sont soumis à un champ acoustique de 4 000 à 300 Hz. La modulation perturbatrice est mesurée après un filtre passe-haut (fréquence de coupure 5 000 Hz) ; elle représente une mesure des tensions perturbatrices se produisant dans l'exploitation,
- Contrôle de l'état de la grenaille de charbon des microphones. Le microphone est placé dans un dispositif de maintien pourvu d'un couvercle qui assure un certain amortissement du bruit de salle. La capsule est alimentée normalement mais ne reçoit aucun son. Le dispositif de maintien portant la capsule est alors tourné à la main. Le déplacement de la grenaille de charbon qui en résulte provoque dans le microphone une tension perturbatrice capable d'allumer une lampe au néon. Quand on tourne la capsule, la lampe s'allume généralement ; mais avec un bon microphone, elle doit s'éteindre dès que celui-ci est au repos. Ce contrôle relativement simple permet d'éliminer les microphones (en particulier les microphones usagés) qui ont tendance à provoquer des perturbations.

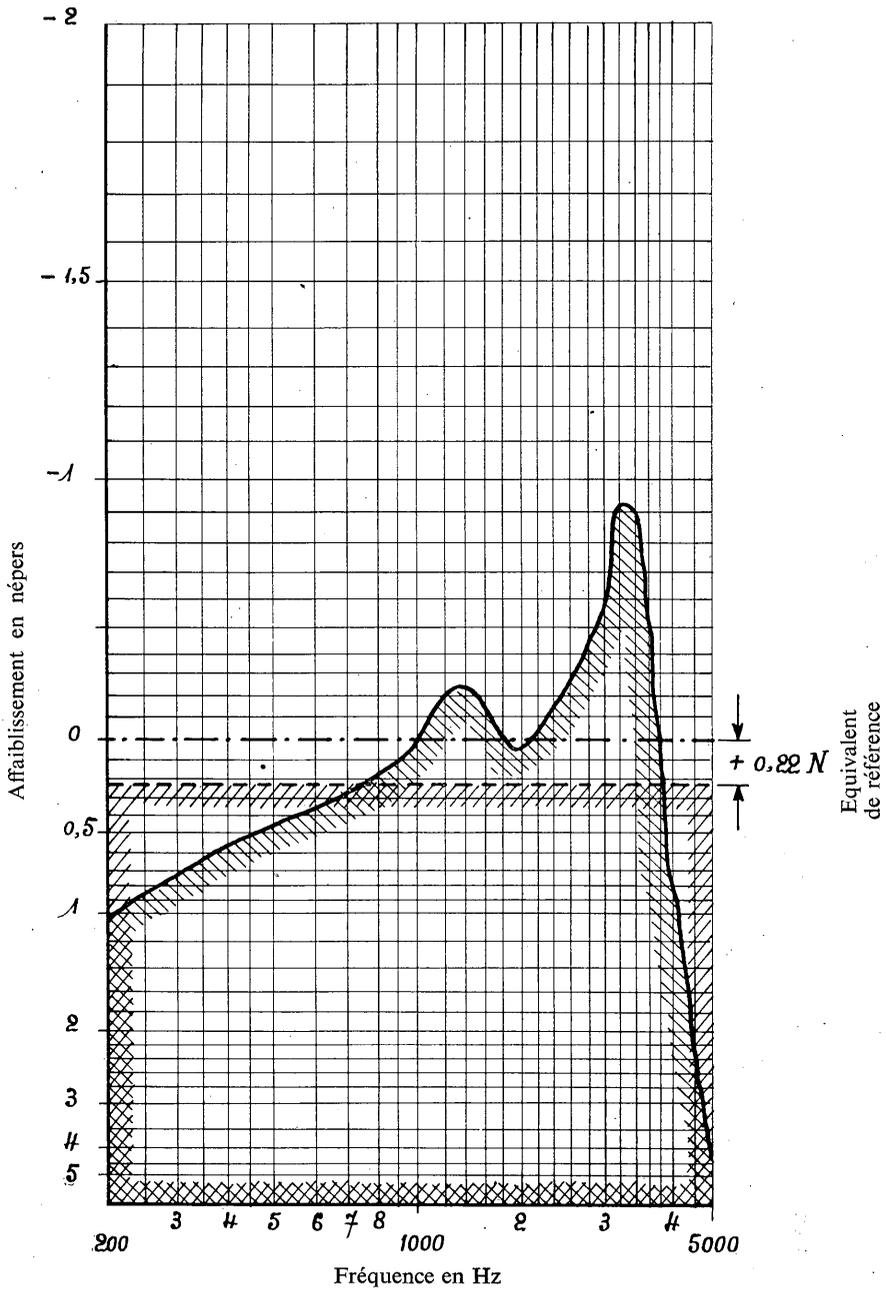


FIGURE 1. — Graphique pour la détermination des équivalents de référence d'après la courbe de réponse

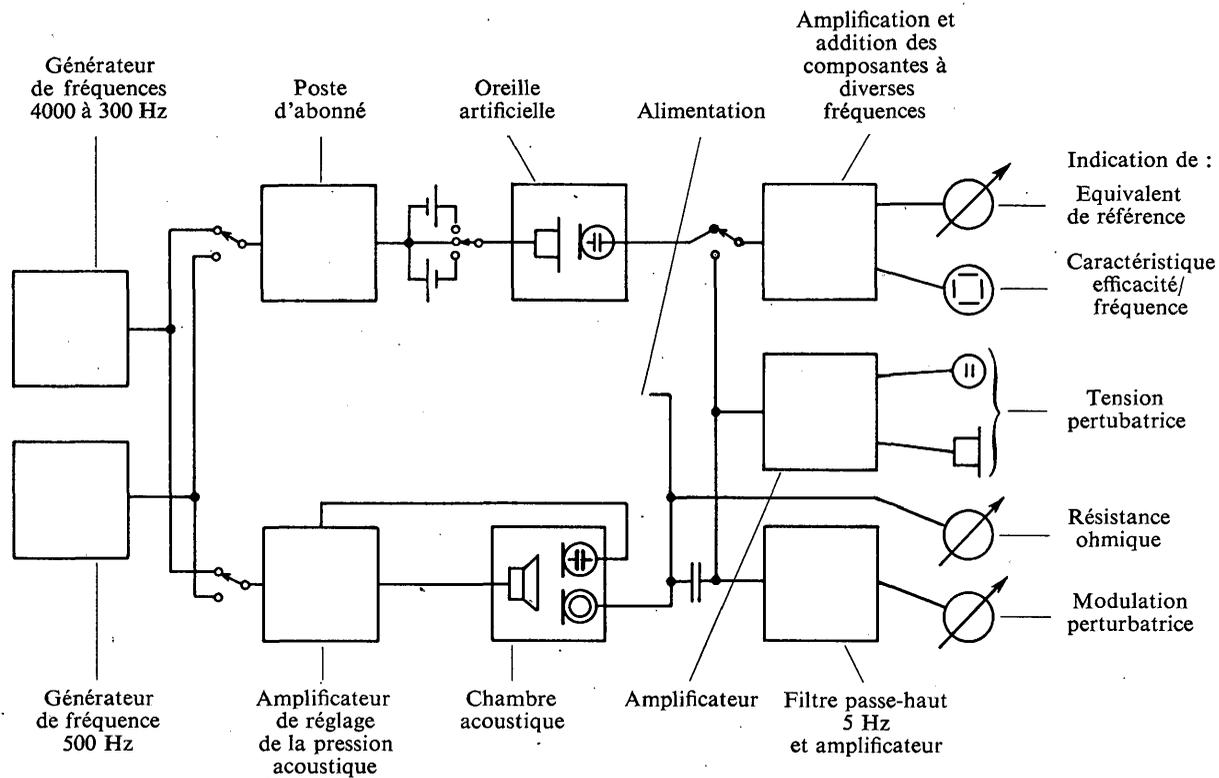


FIGURE 2. — Schéma de principe de l'appareil à contrôler les capsules microphoniques et réceptrices employé par l'Administration suisse

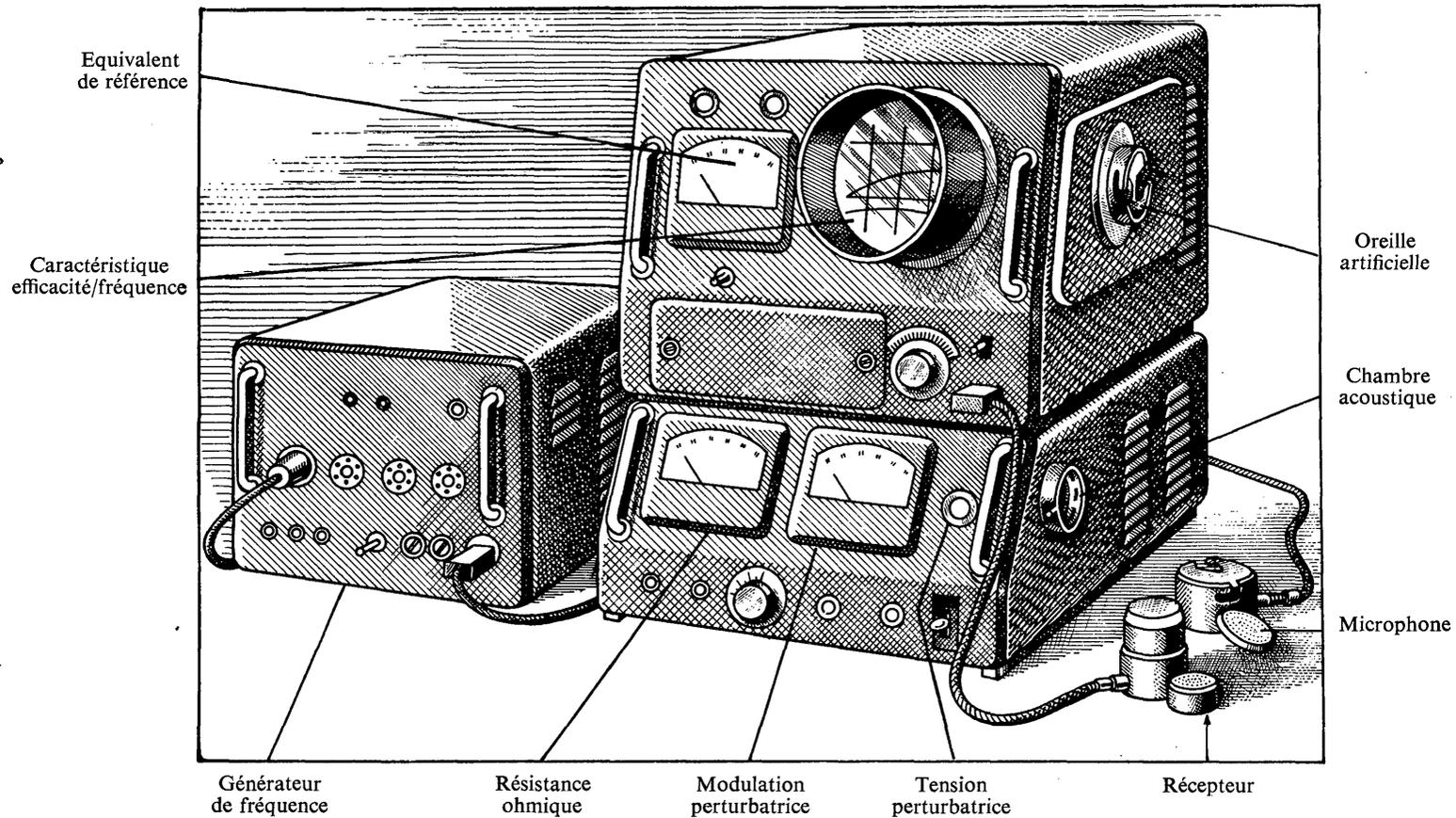


FIGURE 3. — Appareil à contrôler les capsules microphoniques et réceptrices employé par l'Administration suisse

BIBLIOGRAPHIE

- K. BRAUN, Die Bezugsdämpfung und ihre Berechnung aus der Restdämpfungskurve (Frequenzkurve) eines Übertragungssystems. *T.F.T.*, 28 (1939), p. 311.
- K. BRAUN. Der Bezugsdämpfungsmessplatz und seine Bedeutung für die Verbesserung des Fernsprechens. *F.T.Z.*, 5 (1952), p. 447.

MÉTHODE DES ESSAIS D'APPRÉCIATION IMMÉDIATE

Extraits d'une note de l'Administration australienne des téléphones
et d'articles cités dans cette note

1. Historique de la technique des « essais d'appréciation immédiate »

La méthode des essais d'appréciation immédiate a été décrite pour la première fois en janvier 1937 par W. H. Grinsted (1) * de la Société Siemens Brothers de Woolwich (Angleterre). Dans les essais décrits on transmettait sur le système téléphonique essayé un certain nombre de phrases courtes, sans rapport l'une avec l'autre, lues dans un journal et l'on demandait aux opérateurs qui écoutaient de noter le nombre de phrases « immédiatement appréciées » c'est-à-dire qu'ils pensaient avoir comprises sans avoir besoin de réexaminer le sens de la phrase après l'avoir reçue.

Le résultat final des mesures n'était pas un indice relatif de qualité de transmission, comme ceux que l'on emploie actuellement, mais un tableau statistique indiquant pour quel pourcentage des communications téléphoniques, dans les conditions réelles du service, on pouvait s'attendre à avoir un taux d'appréciation immédiate supérieur à une valeur donnée. On faisait les mesures avec diverses valeurs de bruit de salle à la réception et avec diverses valeurs d'affaiblissement de la ligne de jonction. L'opérateur qui parlait réglait sa puissance vocale, en se servant d'un volumètre, de façon à obtenir aussi exactement que possible le « volume normal pour les mesures téléphonométriques » du C.C.I.F. et par conséquent l'effet local à l'émission n'avait pas d'influence sur les résultats des essais.

Un article ultérieur de J. R. Hughes (2), publié en novembre 1938, décrivait avec plus de détails la technique des essais et introduisait une méthode améliorée pour apprécier au point de vue statistique la valeur des résultats d'essais.

Un progrès ultérieur de la technique a été décrit par J. R. Hughes (3) en décembre 1942. Dans la technique modifiée, la puissance vocale de l'opérateur qui parlait n'était pas fixée et on introduisait un bruit de salle à l'émission. On faisait systématiquement les mesures avec un certain nombre de combinaisons de valeurs de bruit de salle à l'émission et à la réception. On mesurait séparément le « volume naturel » des sons vocaux produits par chacun des opérateurs prenant

* Les nombres entre parenthèses renvoient à la bibliographie ci-après.

part aux essais et on en tenait compte. Le résultat déduit des mesures, après avoir tenu compte de la loi de distribution statistique, dans les conditions normales du service téléphonique, du niveau du bruit de salle et du volume de sons vocaux émis par l'abonné qui parle, est un graphique donnant l'affaiblissement de la ligne de jonction en fonction du pourcentage, par rapport à l'ensemble des conversations échangées dans les conditions normales du service, de celles pour lesquelles on peut s'attendre à obtenir un « taux d'appréciation immédiate » dépassant une valeur donnée.

2. Principe de la méthode des essais d'appréciation immédiate *

Le principe sur lequel est basée cette méthode peut être énoncé de la façon suivante :

La transmission est satisfaisante quand les deux abonnés peuvent converser sans malentendus et sans effort, c'est-à-dire quand ils peuvent accorder toute leur attention au sujet de la discussion, sans pratiquement en distraire aucune partie pour les moyens de poursuivre cette discussion. Le « degré de satisfaction » procuré par la transmission est mesuré par le degré auquel ceci est vérifié.

Des expériences ont été faites de 1933 à 1936, dans les laboratoires de la société Siemens Brothers, sur une méthode d'évaluation de la qualité de transmission dont le but est d'effectuer une telle mesure, et l'on a maintenant établi une technique qui donne des résultats raisonnablement cohérents. Cette méthode est basée sur une conception fondamentale de la transmission téléphonique qui, bien qu'elle ne soit peut-être pas nouvelle, peut demander quelque explication.

Le but d'une communication téléphonique est de permettre aux deux abonnés d'échanger des idées au moyen de paroles. Les idées se forment dans l'esprit de l'abonné qui parle et doivent être comprises dans l'esprit de l'abonné qui écoute. La qualité de transmission est bonne ou mauvaise suivant la facilité avec laquelle s'effectue cet échange d'idées de l'esprit d'un des abonnés à l'esprit de l'autre. Pendant la conversation, les esprits des deux abonnés sont occupés du sujet qu'ils discutent ; tous les autres processus mentaux qui interviennent dans la présentation à l'esprit des sensations et des idées sont, ou devraient être, subconscients.

Par conséquent, la qualité de transmission devrait être jugée fondamentalement d'après la douceur et l'absence de gêne (unobtrusiveness) des processus,

- a) de conversion en mots des idées de l'abonné qui parle ;
- b) de conversion en idées des sons perçus par l'abonné qui écoute et de la présentation de ces idées à son esprit.

Toutes les questions de volume des sons vocaux, d'affaiblissement, de bruit, de netteté, d'intelligibilité, d'effet local et autres questions analogues y sont subordonnées.

Tout ce qui distrait l'attention de l'abonné qui parle, et ainsi le gêne pour exprimer sa pensée par des paroles, affecte la qualité de transmission. Il en est de même de tout ce qui tend à l'empêcher d'employer la puissance vocale, les

* Extrait de l'article de W. H. Grinsted, cité sous la référence (1) dans la bibliographie ci-après.

inflexions et les accents qu'il emploierait dans des conditions ordinaires pour exprimer ses idées.

D'une façon semblable, la liberté d'esprit avec laquelle l'abonné qui écoute s'occupe du sujet en cours de discussion est diminuée s'il lui est nécessaire de prêter une attention consciente, de temps en temps, pour comprendre les paroles qu'il reçoit, ou si de la diaphonie ou des bruits intermittents sur le circuit distraient son attention.

Le processus de formulation de mots, et même de phrases complètes, pour exprimer des idées de la part de l'abonné qui parle est un processus acquis par habitude et s'effectue normalement sans attention consciente. Il peut être modifié si quelque réaction du système téléphonique, telle qu'un effet local intense ou un écho, attire l'attention de l'abonné qui parle ou si cet abonné constate qu'il doit élever la voix d'une façon consciente pour se faire entendre. Dans de tels cas, il est conscient de cette perturbation. Il peut aussi être perturbé d'une façon subconsciente s'il entend sa propre voix, par effet local, plus fort qu'il ne l'entend dans une conversation normale face à face avec son interlocuteur. C'est une partie des habitudes relatives à l'emploi de la parole que de régler la force de sa propre voix d'après la mesure dans laquelle on peut l'entendre dominant les bruits ambiants.

D'une façon semblable, en ce qui concerne l'audition, le processus de traduction des sons qui pénètrent dans l'oreille, en idées présentées à l'esprit est un processus acquis par habitude. Nous n'identifions pas consciemment chaque son vocal d'après ses bandes de fréquences caractéristiques, nous n'assemblons pas ces sons en mots ni les mots en phrases. Bien que, comme Collard l'a montré, des théories basées sur ce processus donnent des résultats quantitatifs satisfaisants, c'est un processus, non pas conscient, mais acquis par habitude, dans lequel normalement nous reconnaissons un mot ou même une phrase tout d'un coup, « dans un éclair ».

C'est par la formation directe de ces habitudes de parole et d'audition qu'un bébé apprend sa langue maternelle. Il acquiert la faculté de former et de reconnaître des mots et des phrases directement sans synthèse résultant d'une délibération. Toute personne qui a appris une langue étrangère est familière avec la différence entre l'effort conscient des premiers stades et la facilité qui vient seulement quand les processus de la parole et de l'audition dans la nouvelle langue sont devenus des habitudes.

L'esprit est capable de répartir son attention dans une mesure limitée ; par exemple, nous pouvons être en train de discuter une question tout en marchant, et cependant éviter des obstacles. Si toutefois le nombre ou la difficulté des obstacles augmentent, l'attention peut être complètement distraite du sujet traité. L'attention étant ainsi distraite, cela donne naissance à un sentiment d'irritation, léger au début mais tendant à être cumulatif. Il semble que l'attention ne puisse être répartie avec succès que lorsque l'un de ses objets implique une opération presque subconsciente ou automatique et par suite demande très peu d'attention. Dès que nous faisons attention consciemment (c'est-à-dire par un effort de la volonté) à ce qui autrement serait automatique, nous perdons le fil des processus mentaux principaux. Il en est de même si l'attention est détournée par quelque influence extérieure.

Si, par exemple, la qualité de transmission est telle que l'abonné qui écoute perde un mot çà et là et doive examiner d'après le contexte quel a pu être ce mot, son attention est détournée du sujet principal de la conversation.

Le critère essentiel pour évaluer le degré de satisfaction procuré par la transmission téléphonique est, par conséquent, la mesure dans laquelle il n'intervient pas d'effort conscient dans la transmission d'idées entre l'abonné qui parle et celui qui écoute.

Les comparaisons de qualité de transmission devraient être faites dans des conditions qui ne soient pas très éloignées de celles du service normal. Il est déraisonnable d'augmenter l'affaiblissement, le bruit ou les distorsions à tel point que la limite de l'intelligibilité soit atteinte. Il est également déraisonnable d'employer des syllabes dépourvues de sens, qui doivent être reconnues sans l'aide normalement apportée par le sens et le contexte. Mais, étant entendu que les conditions devraient être analogues à celles du service normal, en fonction de quel facteur doit-on effectuer la comparaison ?

Quel devrait être le critère d'après lequel on juge le « degré de satisfaction » procuré par la transmission, et en fonction de quelles grandeurs devrait-il être mesuré ?

Les mesures sont plus faciles et mieux définies si l'on va jusqu'à la limite de l'intelligibilité ou si l'on emploie des syllabes dépourvues de sens (logatomes), mais ni l'une ni l'autre de ces méthodes ne représente des conditions analogues à celles du service normal. Les méthodes les plus récentes utilisées aux Etats-Unis d'Amérique évitent cette erreur. L'une consiste en « essais d'appréciation subjective » (judgment observations), c'est-à-dire que l'on prend comme critère la préférence personnelle et comme mesure de la qualité de transmission l'affaiblissement qu'il faut introduire dans un système de référence pour le rendre égal au système considéré, au point de vue de ce critère (equalised by adjustments of attenuation, as the measure). On peut faire à ce procédé l'objection que différentes personnes ont des raisons étonnamment différentes de « préférer » un système téléphonique à un autre, certaines de ces raisons ne dépendant pas du tout de caractéristiques essentielles de transmission. Une autre méthode, qui pourrait être préférable, consiste à observer des conversations réelles et à compter le nombre de cas dans lequel l'abonné qui écoute demande à l'abonné qui parle de répéter un mot ou une phrase, et à utiliser ce taux de répétition comme critère, en employant encore un réglage de l'affaiblissement comme mesure de la qualité de transmission. On conçoit que cette méthode pourrait être utile pour déterminer les normes de transmission relatives aux lignes et installations d'une Administration, mais il faudrait opérer sur un grand volume de trafic réel et y consacrer beaucoup de temps avant qu'elle fournisse un résultat. Par conséquent, elle ne convient pas pour des comparaisons dans le laboratoire d'un constructeur de matériel téléphonique.

Dans la méthode qui va être décrite, on mesure la qualité de transmission d'une liaison téléphonique en notant le nombre de fois où l'attention de la personne qui écoute est détournée par la nécessité d'un effort conscient pour comprendre un mot ou une phrase. Cette méthode est extrêmement subjective, mais ce n'est pas un inconvénient, puisque toute méthode d'évaluation correcte de la qualité de la transmission téléphonique doit inévitablement être subjective, si l'on veut tenir compte de quelques-uns des facteurs les plus importants parmi ceux qui interviennent.

Il n'est pas difficile de savoir quand on a dû faire attention consciemment. Les mots et les phrases qui sont reçus d'une façon satisfaisante surgissent immédiatement dans l'esprit, et nous n'avons aucun doute à leur égard. Leur identification est entière et complète. L'idée qu'ils transmettent est appréciée immédia-

tement. D'un autre côté, quand un mot n'est pas reçu avec succès, nous éprouvons une sensation de doute et nous décelons en nous-mêmes un effort pour trouver des associations d'idées qui nous aideront à l'identifier. Nous trouvons que la réception du courant principal d'idées transmis est suspendue pendant que nous comparons le son reçu à la partie associée au contexte des connaissances que nous avons emmagasinées, afin de voir s'il y a une réponse quelconque. C'est seulement quand arrive une réponse satisfaisante, qui s'adapte au son reçu et au contexte, que nous reconnaissons le mot. Il suffit de très peu d'introspection, et très élémentaire, pour nous permettre de déceler cet effort, produit pour chaque mot ou chaque phrase qui n'est pas reçu d'une façon satisfaisante.

La technique que l'on a trouvée la plus satisfaisante pour mettre ces idées en pratique est brièvement la suivante. La personne qui dirige l'essai prépare une liste de phrases. Ces phrases sont du genre de celles qui se rencontrent dans la conversation téléphonique ordinaire et sont extraites des informations d'un quotidien, chaque phrase (sentence) ayant une longueur de six à dix mots et ne comprenant d'habitude qu'une seule proposition (phrase). On constitue le système téléphonique à essayer et on établit les conditions d'essai (bruit de salle, etc.). On énonce les phrases transmises sur ce système d'un ton aussi naturel que possible et en employant aussi exactement que possible la « puissance vocale normale pour les mesures téléphonométriques » définie par le C.C.I.F. L'opérateur placé à l'extrémité réceptrice écoute normalement, mais note aussitôt tout effort conscient qui lui a été nécessaire pour saisir ce qui est dit. Les phrases « appréciées immédiatement », c'est-à-dire reçues sans effort conscient, comptent comme des succès ; celles pour lesquelles on décèle un effort comptent comme des échecs. Le pourcentage de succès sert de mesure du « degré de satisfaction ».

On trouve qu'il est possible d'obtenir des moyennes sûres, pour une condition donnée du système téléphonique, avec des permutations de trois personnes agissant comme opérateur qui parle et opérateur qui écoute et en utilisant environ 120 phrases. Quand on représente sur un graphique les valeurs ainsi obtenues pour des conditions variables du système, les points obtenus se trouvent sur une courbe d'allure raisonnablement régulière.

3. Méthode d'exécution des essais d'appréciation immédiate employée en 1938 *

La méthode des essais d'appréciation immédiate est basée sur l'observation, pendant la transmission de textes dont les sujets sont les mêmes que ceux d'une conversation ordinaire, non pas des insuccès complets, mais des cas où il devient nécessaire de faire un effort pour comprendre, c'est-à-dire des cas où la compréhension n'est pas immédiate. En pratique, l'opérateur qui parle lit des phrases choisies dans un article de journal à un opérateur qui écoute, lequel doit observer et noter toutes les occasions où un effort mental ou une déduction quelconque sont nécessaires pour comprendre la signification de la phrase entendue. Evidemment, le sujet et la terminologie devraient être en rapport avec les connaissances (previous mental experience) et l'intelligence de la personne qui écoute. Il a été vérifié par expérience qu'une attention très petite de la part de la personne qui écoute suffit pour détecter les cas où la compréhension n'est pas immédiate.

* Extrait de l'article cité sous la référence (2) dans la bibliographie ci-après.

En pratique, on procède de la façon suivante :

Une équipe de trois personnes est employée. Il n'existe aucune raison particulière pour choisir ce nombre, mais on avait trouvé que ce nombre était suffisamment grand pour donner des résultats sûrs et cohérents tout en étant suffisamment petit pour éviter des essais longs et compliqués.

Pour parler et pour écouter, on effectue toutes les six permutations des membres de l'équipe pris deux à deux et lors de chaque essai individuel on lit 20 phrases, ce qui fait au total 120 phrases pour chaque condition étudiée (longueur du circuit de jonction, intensité du bruit, etc...). L'expérience a montré que ce nombre suffit pour obtenir des résultats cohérents.

Pour avoir un style littéraire suffisamment uniforme et aussi pour simplifier le choix des phrases à extraire du journal, on utilise toujours le même journal (mais, bien entendu pas le même numéro de ce journal). On a trouvé que le processus lent et fastidieux de la préparation des phrases avant leur lecture pouvait être évité lorsque la personne qui lit a acquis une certaine pratique expérimentale. Le personnel acquiert rapidement l'habileté voulue dans le choix et la lecture de phrases de longueur et de type convenables, sans autre préparation qu'une lecture préliminaire d'ensemble de l'article.

Il est désirable pour obtenir des résultats plus cohérents que ces phrases soient de longueur normalisée (comprise entre 6 et 10 mots) et qu'elles ne contiennent qu'une seule idée. Par exemple, l'article du journal pourrait contenir la phrase : « Des grues puissantes hissent dans le navire les différentes parties des chaudières et des machines qui sont montées par une armée de techniciens très expérimentés »... mais l'opérateur qui lit cet article lira sans hésiter la phrase ainsi modifiée : « Des grues puissantes hissent des parties de chaudières » suivie, peut-être, par la phrase : « Les machines sont montées par des techniciens très expérimentés ».

Les phrases sont lues avec la voix et l'intonation naturelles de l'opérateur qui parle, mais l'intensité acoustique subjective est soigneusement réglée pour obtenir le volume normal pour les essais téléphonométriques du C.C.I.F. *. Ce résultat est obtenu en utilisant un volumètre d'une façon continue pendant les essais.

L'opérateur qui écoute se trouve dans une cabine acoustique dans laquelle on peut produire un bruit de salle d'une intensité spécifiée. Le bruit utilisé est un bruit de nature variée provenant d'un microphone suspendu à la voûte d'un atelier mécanique bruyant. Pour obtenir des résultats cohérents, l'intensité de ce bruit est maintenue constante pendant les essais à l'aide d'un appareil de mesure objectif des bruits de salle. Avant les essais, cet appareil de mesure est étalonné au moyen de mesures subjectives, d'après la méthode de Davis **.

Après avoir réglé l'intensité du bruit de salle au niveau désiré, et la longueur de la ligne à la valeur désirée, on fait six lectures de 20 phrases chacune.

L'opérateur qui écoute décide après chaque phrase s'il a compris le sens sans hésitation, sans effort ou sans déduction mentale. S'il est sûr de n'avoir

* Le volume normal pour les essais téléphonométriques a été défini par le Comité Consultatif International Téléphonique (voir le *Livre Vert*, tome IV, § 3.1.2.B).

** C'est une méthode de mesure subjective dans laquelle on utilise un diapason donnant un son de 1000 Hz avec un décrétement logarithmique connu. Les résultats obtenus sont exprimés directement en phones. Cette méthode a été décrite dans *Nature*, n° 3141, volume 125 du 11 janvier 1930.

éprouvé aucune difficulté de ce genre, il classe la réception de cette phrase comme satisfaisante. Le pourcentage des phrases reçues ainsi d'une façon satisfaisante constitue le « taux d'appréciation immédiate » dans les conditions particulières considérées. On répète cette opération avec autant de conditions différentes qu'il peut être nécessaire. On a trouvé qu'il convenait d'utiliser 5 intensités de bruits, les intensités actuellement utilisées étant : « le silence », 52 phones, 60 phones, 68 phones et 76 phones. Dans le cas de chacune de ces intensités de bruits, on augmente la longueur de la ligne généralement par échelons de 5 décibels à partir d'une valeur qui, dans le cas du système de transmission utilisé et dans le cas de l'intensité de bruit particulière utilisée, donnait d'une façon sûre un taux de compréhension immédiate de 100 % jusqu'à une valeur qui réduisait ce taux d'appréciation immédiate à 50 % ou à 60 %.

Pendant les essais, chaque membre de l'équipe note lui-même les valeurs qu'il trouve sur son répertoire personnel et il ne connaît pas les résultats obtenus par les deux autres membres de l'équipe. La longueur de la ligne (affaiblissement du circuit de jonction) par laquelle on commence les essais est choisie par la personne qui surveille l'essai.

A part l'intensité du bruit de salle à l'extrémité réceptrice et la longueur de la ligne artificielle (l'affaiblissement du circuit de jonction) qui toutes les deux sont des variables connues, toutes les autres conditions sont normalisées dans la mesure du possible. Des précautions rigoureuses telles que les suivantes sont prises pour obtenir des résultats cohérents :

- a) La position de l'opérateur qui écoute dans la cabine d'écoute est normalisée pour éviter les variations qui pourraient être dues à une distribution non uniforme du bruit de salle.
- b) On maintient constante la distance entre les lèvres de l'opérateur qui parle et l'embouchure du microphone. Dans le cas des capsules microphoniques de combinés, on utilise un anneau de garde fixant la « distance normale de conversation » conformément aux recommandations du C.C.I.F.
- c) Aussi bien le microphone de l'appareil téléphonique se trouvant à l'origine émettrice que celui de l'appareil téléphonique se trouvant à l'extrémité réceptrice sont secoués avant la lecture de chaque série de 20 phrases, mais ils ne sont pas soumis à des perturbations mécaniques pendant la lecture même. (L'état du microphone se trouvant à l'extrémité réceptrice joue un rôle important car l'influence des bruits perçus par l'effet local dépend dans une large mesure de l'état de ce microphone).
- d) L'opérateur qui écoute ne tient pas compte des phrases prononcées avec hésitation par l'opérateur qui parle.
- e) On ne répète jamais les phrases.

On fait la moyenne des résultats obtenus par les trois opérateurs et on représente graphiquement cette valeur moyenne comme il est indiqué sur la figure 1 ; on trace ensuite le diagramme conforme à la figure 2, et enfin on procède à une analyse statistique.

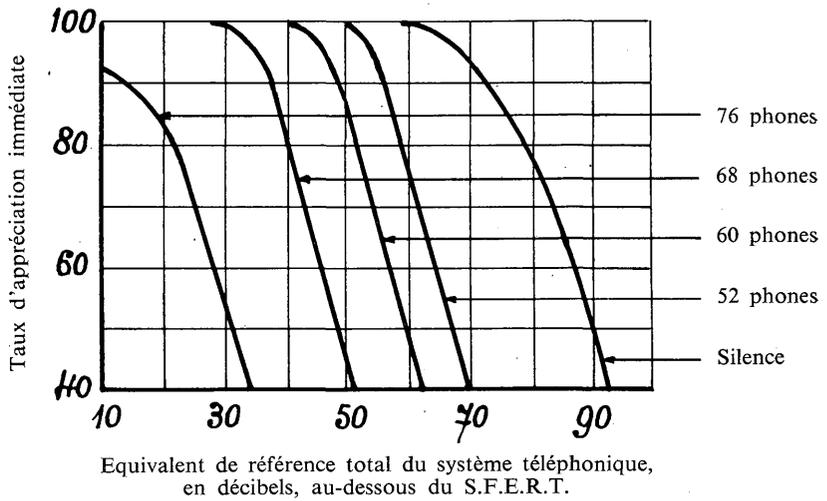


FIGURE 1. — Variation du « taux d'appréciation immédiate » en fonction de l'équivalent de référence total pour différentes valeurs du bruit de salle à l'extrémité réceptrice

Intensité du bruit de salle à l'extrémité réceptrice en phones

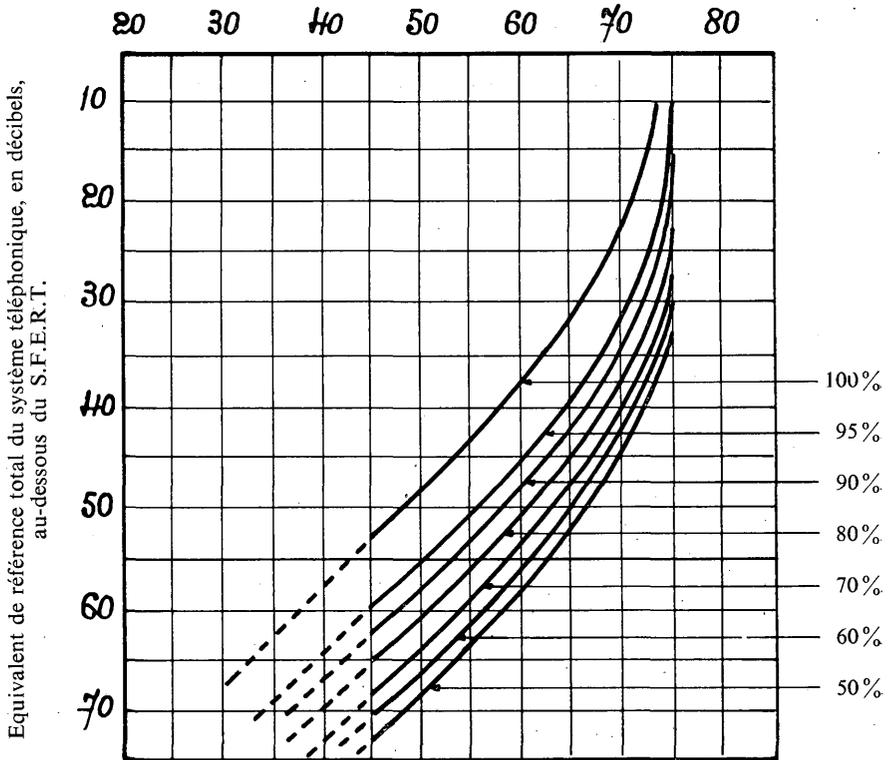


FIGURE 2. — Courbes d'égal taux d'appréciation immédiate tracées d'après les données de la figure 1

On se rappellera, en effet, que cette méthode (comme il a été indiqué dans l'article antérieur (1) * est basée sur une étude statistique des résultats d'essais combinant graphiquement les distributions statistiques des valeurs du bruit de salle et des valeurs du volume des sons vocaux émis par l'abonné qui parle **.

La figure 3 est la reproduction d'une figure de l'article antérieur : c'est un diagramme statistique complet sur lequel on a retracé les courbes d'égal « taux d'appréciation immédiate » de la figure 2.

Pour le procédé qui a été appliqué pour établir ce diagramme statistique, le lecteur peut se référer à l'article antérieur ; il suffit de rappeler ici que le nombre figurant dans chacun des carrés est le produit de la probabilité (exprimée en pourcentage) pour que l'intensité des bruits de salle soit comprise entre les valeurs indiquées sur les côtés verticaux de ce carré par la probabilité pour que le volume des sons vocaux émis par la personne qui parle soit compris entre les limites indiquées sur les côtés horizontaux de ce carré. Par conséquent, puisque les intensités du bruit de salle et les volumes des sons vocaux émis par les abonnés sont indépendants, le nombre figurant dans chacun de ces carrés est la probabilité (rapportée à $100 \times 100 = 10\,000$ cas) pour que simultanément l'intensité du bruit de salle et le volume des sons vocaux émis par la personne qui parle soient compris entre les limites indiquées par les côtés du carré considéré.

Il convient de se rappeler que la position des courbes sur le diagramme statistique dépend de la valeur admise pour l'équivalent de référence du système étalon de travail utilisé pour les mesures de transmission téléphonique. On admet que les mêmes unités sont utilisées pour l'échelle des équivalents de référence sur la figure 2 et l'échelle des volumes de sons vocaux émis par la personne sur la figure 3. Donc, si l'on désire étudier la transmission en admettant que l'équivalent de référence soit de 25 décibels inférieur au S.F.E.R.T., on place les courbes de la figure 2 dans une position verticale telle sur la figure 3 que le nombre 25 de l'échelle de la figure 2 coïncide avec le zéro (c'est-à-dire le volume normal pour les mesures téléphonométriques) sur l'échelle de la figure 3. Les courbes sont placées dans cette position sur la figure 3.

La somme des nombres figurant dans tous les carrés se trouvant au-dessus et à gauche de la courbe correspondant à 100 % est le nombre des cas (sur 10 000 cas considérés) dans lesquels on peut compter sur un taux d'appréciation immédiate de 100 %. Pour étudier comment varie ce nombre lorsqu'on fait varier l'équivalent de référence, il est nécessaire de déplacer la courbe vers le haut ou vers le bas d'une quantité convenable et de faire de nouveau la somme de tous les nombres figurant dans les carrés situés au-dessus et à gauche de cette courbe. On se rend

* Le passage n'est pas reproduit dans l'extrait de cet article figurant au § 2 de la présente annexe.

** Ces distributions statistiques, comme il a été indiqué dans l'article précédent, ont été déterminées à partir des rares données dont on disposait à cette époque.

Mais depuis, dans une communication faite par A. H. Inglis devant l'American Institute of Electrical Engineers, on a publié les résultats d'une étude des intensités de bruits de salle dans les locaux où se trouvent des appareils téléphoniques. Ces résultats montrent que l'intensité moyenne du bruit de salle était de l'ordre de 50 phons avec un écart quadratique moyen de 12 phons environ. Même si on tient compte des différences possibles entre la technique des mesures de bruit appliquée lors de cette étude faite en Amérique et la technique des mesures de bruits dont les résultats nous ont permis d'évaluer la distribution que nous avons utilisée, la précision de la concordance entre ces valeurs américaines et les valeurs correspondantes de 50 et de 11 phons que nous avons indiquées est rassurante.

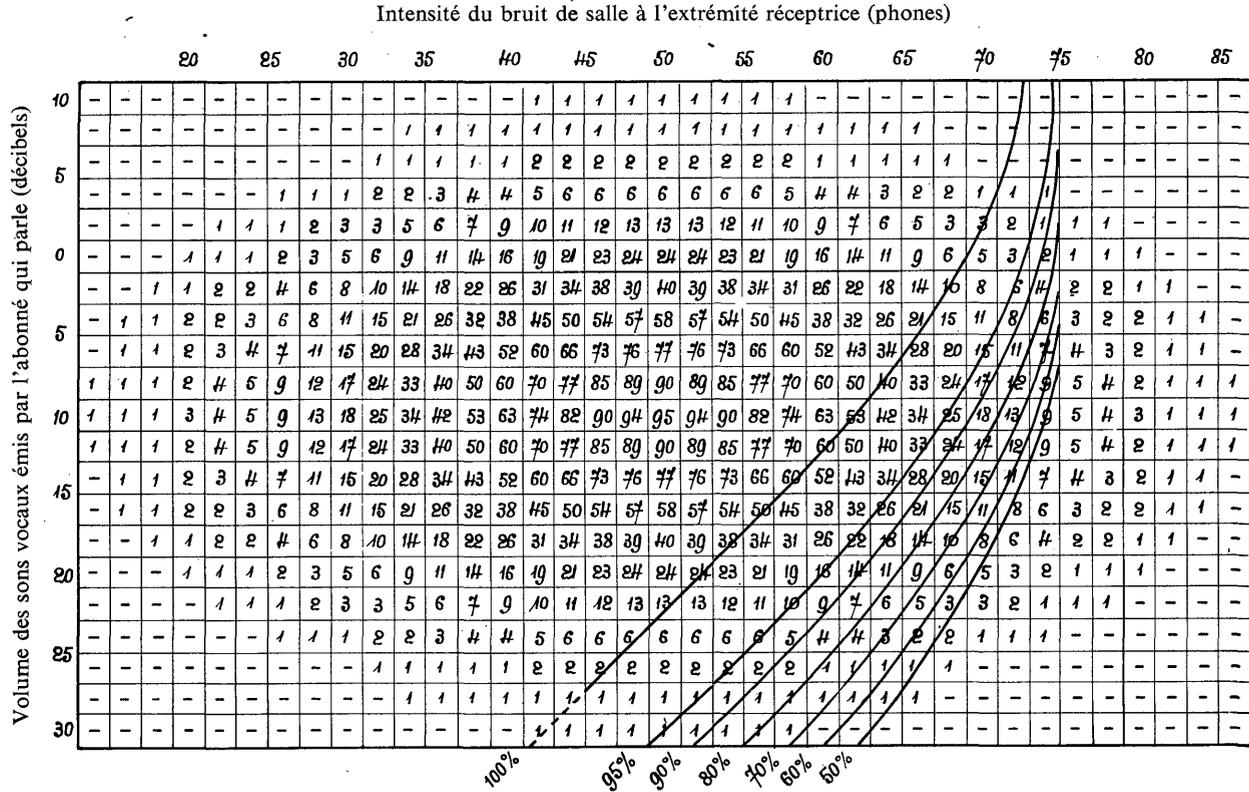


FIGURE 3. — Courbes d'égal taux d'appréciation immédiate de la figure 2, superposées au diagramme statistique primitif

compte que ce procédé, bien que donnant des résultats satisfaisants, est fastidieux, surtout parce qu'un grand nombre de carrés se trouvent en partie seulement au-dessus et à gauche de cette courbe et qu'il est nécessaire d'apprécier quelle partie du nombre figurant dans un tel carré doit être utilisée. De plus, ce diagramme statistique présente l'inconvénient de ne pas faire bien ressortir les faits ; en d'autres termes, le résultat approximatif ne ressort pas directement de la position ou de la forme de la courbe. Depuis la publication du dernier article, on a mis au point une technique plus simple.

Le diagramme tel qu'il est actuellement utilisé est représenté sur la figure 4 ; sur ce diagramme, on a également tracé en trait plein la courbe correspondant aux taux d'appréciation immédiate de 100 % et de 95 % relevés sur la figure 3. La disposition de ce nouveau diagramme est telle qu'au lieu d'additionner les nombres figurant au-dessus et à gauche de la courbe, il suffit de mesurer l'aire totale au-dessus et à gauche de la courbe. Cette opération, qui peut être effectuée à l'aide d'un planimètre, est beaucoup plus simple et plus rapide.

Le nouveau diagramme permettant l'application de ce procédé simplifié diffère de l'ancien en ce que la distance entre les lignes verticales représentant 50 phonses et 52 phonses par exemple est proportionnelle à la probabilité pour que l'intensité du bruit de salle soit comprise entre ces deux valeurs ; ce principe s'applique à la disposition de toutes les lignes du diagramme, aussi bien des lignes verticales que des lignes horizontales. Le diagramme a la forme d'un carré dont chaque côté mesure 100 unités ; l'aire de ce diagramme correspond par conséquent à 10 000 « unités au carré » (square units).

L'aire de chaque rectangle de ce diagramme étant égale au produit des longueurs de ses côtés, cette aire est égale au produit des deux probabilités et représente par conséquent la probabilité composée pour qu'on ait simultanément des valeurs de bruit et de volume des sons vocaux comprises entre les limites indiquées sur les côtés de ce rectangle. Autrement dit, l'aire d'un rectangle donné exprimée en « unités au carré » se trouve être égale au nombre qui figurerait dans le carré correspondant de l'ancien diagramme.

Donc, au lieu de faire la somme de tous les nombres qui auraient figuré dans les carrés se trouvant au-dessus et à gauche de la courbe considérée (dans le cas de l'ancien diagramme) il suffit à présent de mesurer l'aire totale au-dessus et à gauche de cette courbe. Evidemment, à cause des échelles non-linéaires, il n'est plus possible dans ces conditions de faire simplement glisser les courbes sur ce graphique lorsqu'on change les conditions de la transmission. Il est maintenant nécessaire de tracer la courbe par points dans chaque nouvelle position, et, bien entendu, sa forme varie en même temps que sa position. La courbe en pointillé représentée sur la figure 4 est la courbe correspondant à 100 % dans le cas d'un équivalent de référence de 35 décibels au-dessous du S.F.E.R.T. au lieu de 25 décibels au-dessous du S.F.E.R.T.

Non seulement la nouvelle méthode permet de gagner beaucoup de temps mais, de plus les diagrammes deviennent très clairs. C'est-à-dire qu'ils permettent d'apprécier immédiatement le pourcentage approximatif de l'aire du diagramme se trouvant au-dessus et à gauche de la courbe.

Lors des essais qui ont été effectués récemment, nous avons normalisé pour nos comparaisons l'emploi de la courbe correspondant à un taux d'appréciation immédiate de 95 %. Généralement, il n'est pas économique de viser à la perfection (c'est-à-dire à 100 %) dans l'établissement des projets de réseaux téléphoniques ;

de plus, dans le cas considéré, il n'est pas commode de lire les coordonnées « intensité du bruit de salle » – « équivalent de référence » correspondant à un taux d'appréciation immédiate de 100 % quand les courbes sont tracées comme sur la figure 1.

Le choix de 95 % permet de tourner cette difficulté tout en assurant, très probablement des normes de transmission suffisamment élevées pour obtenir une transmission commerciale de haute qualité. Cependant, le choix de cette valeur n'est pas du tout définitif.

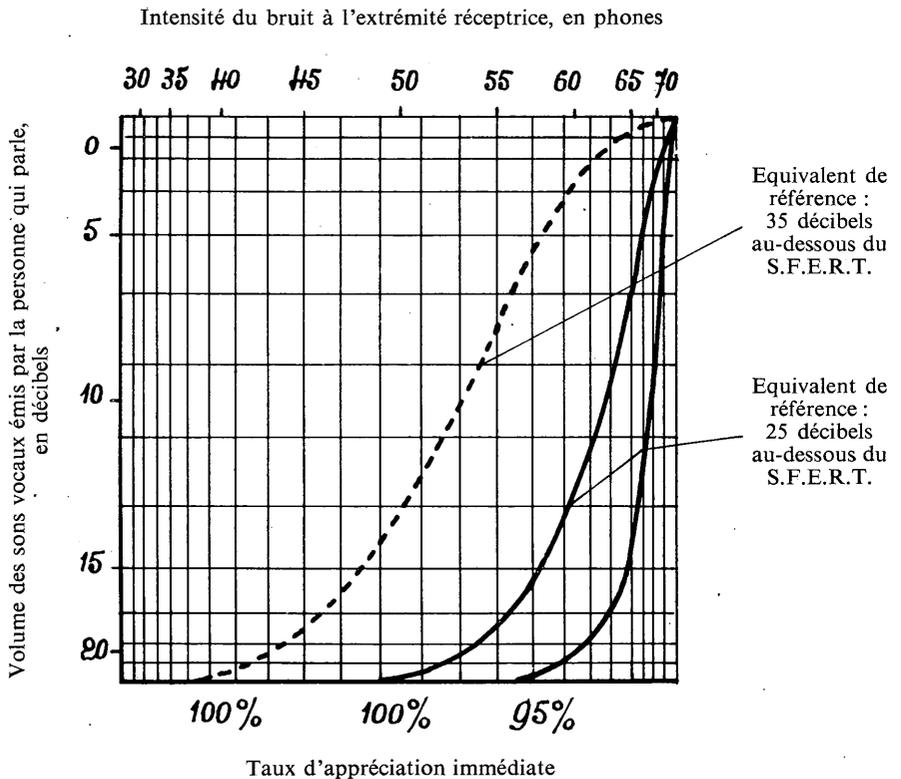
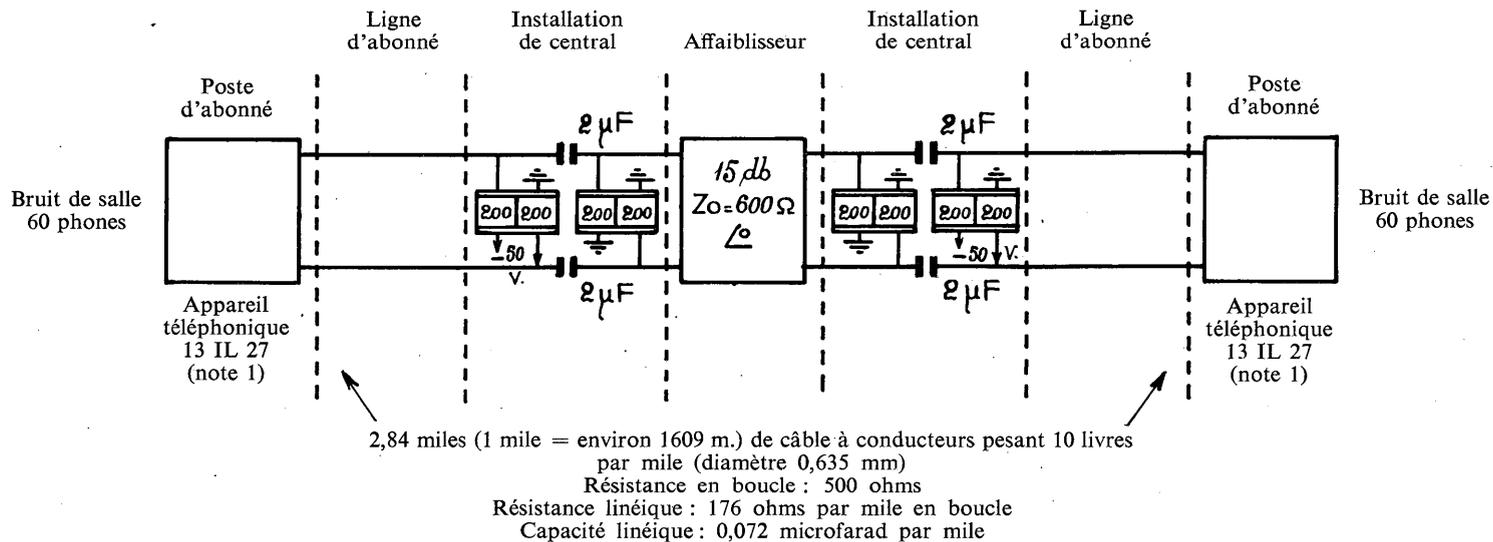


FIGURE 4. — Courbes d'égal taux d'appréciation immédiate déduites de la figure 3, tracées sur le diagramme statistique du nouveau type

4. Méthode d'exécution des essais d'appréciation immédiate employée en 1948-1949 par l'Administration australienne des téléphones *

Tandis que les principes fondamentaux décrits ci-dessus ont été adoptés dans les essais effectués au laboratoire de l'Administration australienne, l'objectif normal est de mesurer l'indice relatif de qualité de transmission d'un système de télécommunication par rapport à un système étalon de travail. On effectue donc

* La suite de cette annexe est extraite de « C.C.I.F. 1952/1954 — 4^{me} C.E. — Document n° 4 ».



Note 1 — L'expression « appareil téléphonique 13.IL.27 » désigne un appareil du type à combiné, comprenant les éléments suivants :

- Capsule microphonique n° 13 ;
- Récepteur du type IL ;
- Bobine d'induction à montage anti-local n° 27

FIGURE 5. — Système étalon de travail représentant la norme de qualité de transmission, pour un système complet, adoptée par l'Administration australienne des téléphones

d'habitude les essais avec un bruit de salle ayant un niveau fixé (60 décibels). Ce bruit de salle est du type à spectre continu engendré en amplifiant le bruit d'agitation thermique (effet Johnson) existant dans une résistance à la température ambiante. On mesure le niveau du bruit au moyen d'un sonomètre américain (General Radio) en employant le réseau filtrant correspondant à un niveau de 70 décibels.

On laisse le volume des sons vocaux émis par l'opérateur qui parle prendre sa valeur normale dans les conditions particulières de l'essai et les conditions d'effet local, qu'on laisse toutes jouer entièrement. Comme les mesures normales habituelles sont des mesures d'indice relatif de qualité de transmission entraînant des essais comparatifs, il n'est pas nécessaire de connaître la valeur absolue du volume des sons vocaux émis. Dans des essais d'un caractère plus absolu, on emploie un assez grand nombre d'opérateurs qui parlent pour être sûr que la moyenne des sons vocaux émis par tous les opérateurs qui parlent soit voisine de la valeur moyenne observée en service. Grinsted (1) a déduit, des résultats publiés à l'époque où il rédigeait son article, que la loi de distribution du volume des sons vocaux émis en service correspond approximativement à la loi de distribution « normale » ou loi de Gauss et présente un écart moyen quadratique de 6 décibels. Par conséquent, l'écart moyen quadratique sur la valeur moyenne des volumes des sons vocaux émis par un groupe de N opérateurs choisis au hasard est approximativement de $\frac{6}{\sqrt{N}}$ db.

Dans les essais les plus récents effectués au Laboratoire de l'Administration australienne, on insère, à l'extrémité réceptrice de la ligne de jonction représentée par l'affaiblisseur de 15 décibels dans la figure 5, un amplificateur avec dispositif d'écoute multiple, de sorte que l'on peut faire écouter simultanément jusqu'à quatre opérateurs. Le gain de cet amplificateur est réglé à 0,0 décibel, et l'on peut relier, à chacune des voies de sortie de cet amplificateur, des ponts d'alimentation et des lignes d'abonné identiques. Ainsi tous les opérateurs qui écoutent reçoivent simultanément les sons vocaux avec le même volume et sont soumis aux mêmes conditions d'effet local qui s'appliquent à un seul opérateur qui écoute quand on n'utilise pas l'amplificateur pour écoute multiple.

L'emploi d'un système d'écoute à plusieurs voies diminue le temps nécessaire pour effectuer un essai et par suite augmente la sécurité des essais comparatifs. On peut améliorer la sécurité des essais destinés à déterminer par comparaison les indices relatifs de qualité de transmission à la réception de deux lignes d'abonné, ou de deux appareils d'abonné différents, en reliant chaque appareil à une voie de réception distincte et en écoutant le même opérateur qui parle, les opérateurs qui écoutent étant permutés systématiquement d'un appareil à l'autre.

5. Analyse statistique des résultats d'essais

5.1 Variations purement fortuites

Les résultats d'essais réels montrent qu'avec les systèmes téléphoniques de la pratique il est très rare qu'on obtienne un taux d'appréciation immédiate de 100 % pour un groupe de 100 phrases par exemple, et que l'indice relatif de qualité de transmission d'un système donné est basé sur des observations faites quand il y a une certaine proportion de phrases qui ne sont pas « appréciées immédiatement ».

Les facteurs qui font que l'on note un défaut d'appréciation immédiate sont des facteurs qui varient d'une façon imprévisible, par exemple des variations du volume des sons vocaux émis, la difficulté des phrases, le caractère aléatoire du bruit à spectre continu et les variations d'efficacité des microphones téléphoniques à charbon. Il en résulte que la valeur moyenne du taux d'appréciation immédiate obtenue à partir d'un certain nombre de séquences (replications) ne sera pas la même pour chaque séquence.

La loi de distribution des moyennes correspondant aux diverses séquences autour de la moyenne générale, la variation étant due à des facteurs purement fortuits, sera la distribution binômiale que l'on considère dans les théories statistiques élémentaires (voir par exemple (4)). Il est donc possible, en admettant que la probabilité de ne pas recevoir correctement une phrase reste la même pour toutes les personnes, de prévoir l'erreur moyenne quadratique, c'est-à-dire l'écart moyen quadratique des moyennes correspondant à chaque séquence, résultant de tels facteurs. Celle-ci est donnée par l'expression suivante

$$S = \sqrt{\frac{p(100-p)}{n}}$$

où S est l'erreur moyenne quadratique (écart moyen quadratique de la moyenne d'une séquence par rapport à la moyenne générale),

n est le nombre de phrases dans chaque séquence et

p est le « taux d'appréciation immédiate » en % obtenu au cours d'une longue période.

Dans les conditions habituelles d'essai, où n est grand, la loi de distribution des moyennes par groupe d'essais est très voisine de la loi de Gauss, et on peut utiliser ce fait pour estimer les limites de confiance applicables aux résultats d'une expérience dans lequel seuls des facteurs fortuits influencent le résultat.

Par exemple, dans les essais décrits par Grinstead on lisait 120 phrases pour chaque ensemble de conditions d'essai. Dans un cas typique où le taux d'appréciation immédiate moyen était de 95 %, l'erreur moyenne quadratique pour la moyenne des 120 phrases, estimée d'après l'expression précédente, est de 2 % et les limites de confiance à 95 % basées sur la loi de Gauss sont approximativement 91 % et 99 %.

5.2 Autres variations

En plus des variations dues à des causes secondaires impossibles à préciser, il y a des facteurs, dus aux caractéristiques de la façon de parler et de l'audition des opérateurs de l'équipe, qui, en moyenne, ont tendance à rester constants ou à varier lentement d'un essai à un autre. Par exemple un opérateur de l'équipe peut parler naturellement avec une puissance vocale plus élevée de quelques décibels que celle des autres opérateurs de l'équipe. De tels facteurs n'affectent pas nécessairement la précision avec laquelle on peut comparer deux systèmes de télécommunication, mais ils augmentent la variance des taux d'appréciation immédiate obtenus sur un groupe de phrases. Si S_0 est l'écart moyen quadratique total des résultats individuels d'observation par rapport à la moyenne générale (voir (5)) on peut écrire :

$$S_0 = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_r$$

où S_1, S_2, \dots , sont les écarts moyens quadratiques produits par certaines causes que l'on peut préciser et S_r est l'écart moyen quadratique résiduel dû à des causes d'erreurs inconnues et qui, dans une expérience bien conduite, sera fonction de l'erreur moyenne quadratique due aux variations purement fortuites, qui a été examinée au § 5.1 ci-dessus.

La technique statistique permettant de déterminer S_1, S_2, \dots, S_r , à partir desquelles on peut calculer les variances correspondantes V_1, V_2, \dots, V_r , est appelée l'analyse de la variance et est décrite dans des ouvrages classiques de statistique théorique.

Dans une expérience comparative, la variance résiduelle est normalement la seule qui détermine l'imprécision de la comparaison. Puisque l'on peut estimer d'avance cette variance à partir de la loi de distribution binômiale, il est possible de calculer le nombre minimum d'essais nécessaire pour effectuer une détermination donnée. Par exemple, supposons que l'on ait à comparer deux systèmes de télécommunication dans des conditions qui rendent égal à 90% le taux d'appréciation immédiate et que l'incertitude sur la moyenne générale des résultats ne doive pas dépasser $\pm 1\%$. Si l'on prend pour les limites de confiance à 95%, relatives à la moyenne générale, les valeurs de 89% et 90%, l'erreur moyenne quadratique sur la moyenne générale ne doit pas dépasser 0,5%. Utilisant la relation

$$S = \sqrt{\frac{p(100-p)}{n}}$$

où l'on fait $S = 0,5$ et $p = 90$, on calcule n , c'est-à-dire le nombre total de phrases qu'on doit employer au cours des essais effectués sur chaque système. On trouve que $n = 3600$ phrases et c'est le nombre *minimum* de phrases à énoncer pour chaque système si la moyenne générale doit présenter le degré de précision requis. La cadence d'exécution des essais, compte tenu des périodes de repos, est d'environ 300 à 400 phrases par heure et, dans le cas particulier considéré, la durée totale des essais, en admettant qu'il n'y a pas de dispositif d'écoute multiple, est de 18 à 24 heures.

6. Application des essais d'appréciation immédiate en vue de vérifier les limites admissibles pour la longueur de lignes d'abonnés de divers types

Comme exemple d'application de la technique des essais d'appréciation immédiate, on va décrire une série de mesures effectuées sur le système étalon de travail représentant la norme de qualité de transmission, pour un système complet, adoptée par l'Administration australienne des téléphones. A l'origine, on avait établi le programme de cette expérience pour obtenir une mesure absolue et non une mesure comparative, c'est-à-dire que le but final était d'établir une courbe donnant le taux d'appréciation immédiate en fonction de l'affaiblissement de la ligne de jonction et, pour cette raison, on a utilisé une équipe nombreuse. Cette expérience a aussi fourni une base pour l'étude de la technique des essais d'appréciation immédiate, car on avait très peu d'expérience de ce type d'essai.

6.1 *Sélection des opérateurs*

Comme il avait été décidé d'employer dans ces essais des opérateurs qui n'étaient pas entraînés et dont on n'avait pas éprouvé l'aptitude, on effectue des vérifications préliminaires pour déceler ceux dont la façon de parler ou l'audition présentait des caractéristiques anormales.

6.1.1 *Examen de la façon de parler des opérateurs.* — On établit entre deux salles un système téléphonique comprenant des appareils à batterie centrale du type 300, avec un bruit de salle à spectre continu (niveau du bruit 60 db) dans ces deux salles. On prit des dispositions pour permettre l'écoute simultanée à l'extrémité réceptrice par quatre personnes qui étaient des membres choisis de la Division des appareils téléphoniques.

Chaque opérateur qui parlait lisait une liste de 100 mots anglais qui étaient notés par les personnes qui écoutaient. La netteté moyenne pour les mots était de 62,0% (moyenne de 277 observations) et les opérateurs pour lesquels les personnes qui écoutaient obtenaient une netteté moyenne inférieure à 40% étaient éliminés comme inaptes aux essais. La valeur de 40% choisie pour éliminer les opérateurs fut déterminée après avoir fait quelques essais et était en grande partie arbitraire.

6.1.2 *Examen de l'audition des opérateurs.* — On effectua deux séries d'essais d'audition. Dans la première série on appliquait la même méthode que pour l'examen de la façon de parler des opérateurs, sauf que la personne à examiner était un des quatre membres de l'équipe des personnes qui écoutaient. Ultérieurement, on monte un audiomètre en employant des éléments existant au laboratoire et un récepteur à bobine mobile étalonné; on mesure avec cet appareil la perte d'acuité auditive des opérateurs de l'équipe. En dépit du fait que tous les opérateurs de l'équipe donnèrent des résultats satisfaisants dans les essais faits avec des paroles, on trouve que la surdité aux hautes fréquences était très prononcée chez les hommes âgés.

6.2 *Organisation des équipes d'opérateurs*

A l'époque où l'on entreprit les études qui font l'objet du présent document, on ne disposait pas d'un dispositif d'écoute multiple satisfaisant. Et les observateurs disponibles pour les essais furent répartis en équipes de trois membres. Le programme d'expérience prévoyait qu'à un moment quelconque un opérateur de l'équipe parlait, un autre écoutait, et le troisième était au repos. La constitution d'équipes plus nombreuses aurait signifié qu'à un moment quelconque un plus grand nombre d'opérateurs auraient été distraits de leur travail, et le coût des essais aurait été augmenté en conséquence; de telles considérations l'emportèrent sur les avantages que l'on aurait obtenus en raison du plus grand nombre de combinaisons (d'un opérateur qui parle et d'un opérateur qui écoute), à l'intérieur de l'équipe, qui résulte de l'emploi d'une équipe plus nombreuse.

La sélection des équipes fut effectuée de façon à causer le minimum de désorganisation dans les autres sections du laboratoire où les opérateurs individuels étaient prélevés. En tout, 11 équipes de 3 membres différentes participèrent aux essais. 6 équipes seulement donnèrent des résultats suffisants pour qu'on ait pu les utiliser dans le présent document.

On tenta d'organiser des équipes masculines et féminines en nombre égal, mais ceci ne fut pas possible en raison du taux de remplacement rapide constaté dans le cas du personnel féminin. On n'obtint pas assez de résultats avec une équipe féminine pour permettre une comparaison satisfaisante de ces résultats avec ceux qui étaient obtenus par les équipes masculines. Aucune équipe féminine n'obtint des résultats suffisants pour être utilisés dans le présent document.

Ces essais s'étendirent sur une période de 10 mois, de septembre 1948 à juillet 1949. Cette durée, due à des difficultés d'organisation, est beaucoup trop grande et dans n'importe quels essais de ce type qui seront effectués à l'avenir, on utilisera au maximum, dans la mesure du possible, des dispositifs d'écoute multiple.

6.3 *Méthode d'exécution des essais.*

Le système étalon de travail proposé, représentant la norme de qualité de transmission pour un système complet et dont la figure 5 donne le schéma, fut établi dans deux salles reliées par une ligne de jonction dans laquelle était inséré un affaiblisseur réglable d'impédance égale à 600 ohms. Des lignes artificielles représentant des lignes d'abonné en câble ayant les longueurs maximums admissibles avec des conducteurs pesant 20, 10 et $6\frac{1}{2}$ livres anglaises par mile furent construites et insérées dans le système suivant les besoins.

Chaque opérateur qui parlait lisait un groupe de 20 phrases extraites de la liste de phrases publiée par Fletcher & Steinberg (7). On utilisait toutes les 6 combinaisons possibles d'un opérateur qui parle et d'un opérateur qui écoute et l'on répétait tous les essais avec un certain nombre de valeurs différentes pour l'affaiblissement de la ligne de jonction, dans un ordre fixé qui suivait la loi du hasard.

6.4 *Résultats des essais*

Les moyennes générales des résultats des essais sont représentées, dans la figure 6, sous forme de courbes donnant le taux d'appréciation immédiate en fonction de l'affaiblissement de la ligne de jonction. Ces courbes montrent qu'il y a peu de différence entre la qualité de transmission de liaisons téléphoniques, toutes conformes à la norme pour la qualité de transmission d'un système complet fixée dans les directives techniques de transmission de l'Administration australienne, mais comportant des lignes d'abonné en câble, avec des conducteurs de divers diamètres, ayant les longueurs indiquées ci-dessus. Les écarts qui apparaissent sur les courbes de la figure 6 se produisent, pour la plupart, avec des valeurs d'affaiblissement de la ligne de jonction dépassant 25 db, très supérieures au maximum de 15 db fixé dans la norme de qualité de transmission pour un système complet de l'Administration australienne.

6.5 *Analyse statistique des résultats*

On a effectué une analyse détaillée des résultats obtenus pour les câbles à conducteurs de $6\frac{1}{2}$ et de 10 livres par mile, avec une valeur d'affaiblissement de la ligne de jonction de 32 db, en utilisant la technique d'analyse de la variance. Les résultats individuels obtenus par chaque combinaison d'opérateurs à l'intérieur d'une équipe, qui constituent les données fondamentales pour ce calcul, figurent dans les tableaux 1 et 2. Chaque résultat de ces tableaux indique le nombre de

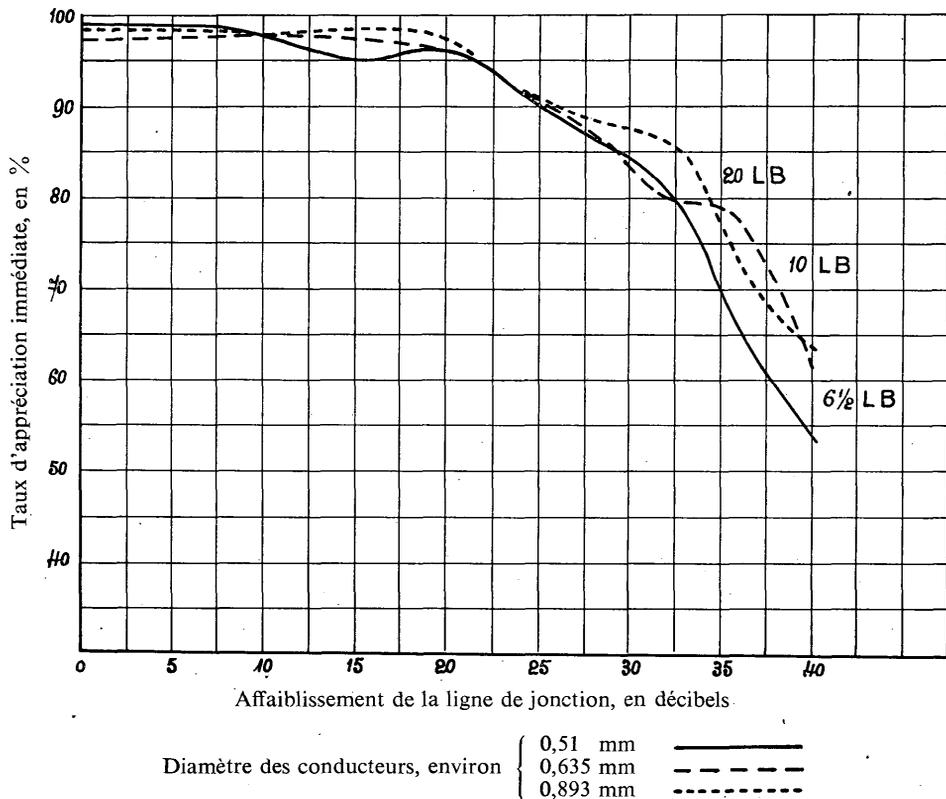


FIGURE 6. — Comparaison des résultats obtenus avec divers types de lignes d'abonné correspondant à la limite admissible

phrases « appréciées immédiatement » sur un total de 20 phrases lues. Les résultats de l'analyse de la variance figurent dans le tableau 3.

Les valeurs de variance qui figurent dans ce tableau 3 ont été déterminées à partir des écarts, moyens quadratiques (par rapport à la moyenne générale) dus aux diverses causes d'erreurs énumérées ci-dessus et du nombre de degrés de liberté. Dans le cas des combinaisons de deux opérateurs, des types de ligne et des séquences, le nombre de degrés de liberté est inférieur de 1 au nombre de valeurs possibles, par exemple il y a 36 combinaisons d'un opérateur qui parle et d'un opérateur qui écoute et par suite 35 degrés de liberté pour le calcul de la variance correspondante. Le nombre de degrés de liberté pour chaque terme d'interaction est le produit des nombres correspondants pour les deux causes principales de variation considérées et le nombre de degrés de liberté pour le terme résiduel est le produit des nombres correspondants pour toutes les trois causes principales de variation.

Le « rapport des variances » est le rapport entre la variance due à la cause de variation considérée et la variance résiduelle. La variance résiduelle est celle qui est due à toutes les causes impossibles à préciser, comme il a été exposé au § 5 ci-dessus. Si le rapport des variances est élevé, il est assez certain que la cause de variation considérée est importante au point de vue statistique ; si le rapport des



TABLEAU 1

Résultats détaillés des essais d'appréciation immédiate effectués avec une valeur d'affaiblissement de la ligne de jonction égale à 32 décibels pour vérifier la longueur maximum admissible de lignes d'abonné constituées en câble à conducteurs pesant 10 livres par mile

Equipe n°	Opérateur qui parle	Opérateur qui écoute	Séquence n°					Moyenne par couple d'opérateurs
			1	2	3	4	5	
3	LWL	RWK	16	14	(0)	(0)	(9)	7,80
	LWL	LS	19	15	(0)	(0)	(9)	8,60
	RWK	LWL	20	19	(0)	(0)	(7)	9,20
	RWK	LS	17	18	(3)	(0)	(9)	9,40
	LS	LWL	20	20	(19)	(15)	(17)	18,20
	LS	RWK	17	18	(4)	(10)	(17)	13,20
4	RC	JF	15	16	17	17	19	16,80
	RC	FFH	13	20	13	9	20	15,00
	JF	RC	14	19	20	13	17	16,60
	JF	FFH	19	20	19	18	20	19,20
	FFH	RC	14	16	19	3	19	14,20
	FFH	JF	19	20	20	18	20	19,40
5	GCS	JWC	18	18	20	18	20	18,80
	GCS	AHL	14	20	20	16	18	17,60
	JWC	GCS	17	20	14	16	19	17,20
	JWC	AHL	20	20	19	18	19	19,20
	AHL	GCS	19	20	16	18	17	18,00
	AHL	JWC	18	20	20	19	18	19,00
7	JWS	ROR	19	17	15	10	17	15,60
	JWS	CVE	20	19	20	19	20	19,60
	ROR	JWS	18	17	18	19	19	18,20
	ROR	CVE	16	16	19	19	20	18,00
	CVE	JWS	18	17	20	20	20	19,00
	CVE	ROR	20	7	14	18	19	15,60
8	DG	JF	12	10	9	14	20	13,00
	DG	AHA	11	10	16	20	16	14,60
	JF	DG	16	14	9	17	19	15,00
	JF	AHA	20	16	18	20	20	18,80
	AHA	DG	12	17	20	19	20	17,60
	AHA	JF	15	17	19	20	19	18,00
10	BPP	NCH	11	18	14	20	20	16,60
	BPP	JTB	20	18	19	20	18	19,00
	NCH	BPP	19	6	8	16	20	13,80
	NCH	JTB	18	18	18	18	20	18,40
	JTB	BPP	17	18	6	20	8	13,80
	JTB	NCH	6	18	11	19	12	13,20
Moyenne par colonne de ce tableau			16,583	16,833	14,333	14,889	17,250	15,978

TABLEAU 2

Résultats détaillés des essais d'appréciation immédiate effectués avec une valeur d'affaiblissement de la ligne de jonction égale à 32 décibels pour vérifier la longueur maximum admissible de lignes d'abonné constituées en câble à conducteurs pesant 6½ livres par mile

Equipe n°	Opérateur qui parle	Opérateur qui écoute	Séquence n°					Moyenne par couple d'opérateurs
			1	2	3	4	5	
3	LWL	RWK	2	3	(0)	(5)	(5)	2,00
	LWL	LS	7	12	(0)	(11)	(11)	8,20
	RWK	LWL	13	16	(16)	(17)	(17)	15,80
	RWK	LS	16	17	(16)	(14)	(14)	15,40
	LS	LWL	19	20	(16)	(20)	(20)	19,00
	LS	RWK	19	20	(6)	(19)	(19)	16,60
4	RC	JF	20	19	20	15	20	18,80
	RC	FFH	20	15	19	10	20	16,80
	JF	RC	19	17	20	20	18	18,80
	JF	FFH	20	20	19	20	20	19,80
	FFH	RC	20	19	20	20	20	19,80
	FFH	JF	20	20	19	20	20	19,80
5	GCS	JWC	16	20	19	12	19	17,20
	GCS	AHL	14	20	20	12	15	16,20
	JWC	GCS	18	18	18	19	14	17,40
	JWC	AHL	18	20	20	15	20	18,60
	AHL	GCS	11	18	18	17	19	16,60
	AHL	JWC	19	18	19	19	14	17,70
7	JWS	ROR	12	13	13	13	20	14,00
	JWS	CVE	19	18	14	17	18	17,20
	ROR	JWS	18	14	15	16	18	16,20
	ROR	CVE	20	16	16	17	17	17,20
	CVE	JWS	19	18	18	20	18	18,60
	CVE	ROR	20	8	12	16	19	15,00
8	DG	JF	4	12	18	15	12	12,20
	DG	AHA	13	12	20	20	20	17,00
	JF	DG	7	19	19	15	20	16,00
	JF	AHA	20	20	20	20	20	20,00
	AHA	DG	16	20	18	19	20	18,60
	AHA	JF	17	17	20	20	18	18,40
10	BPP	NCH	19	20	18	15	18	18,00
	BPP	JTB	18	19	16	15	19	17,40
	NCH	BPP	2	20	3	10	20	11,00
	NCH	JTB	11	19	12	17	20	15,80
	JTB	BPP	20	20	20	15	18	18,60
	JTB	NCH	19	20	8	16	17	16,00
Moyenne par séquence. . .			15,694	17,139	15,694	16,111	17,694	16,467
Moyenne générale des résultats contenus dans les tableaux 1 et 2 =								16,223

TABLEAU 3

Résultats de l'analyse de la variance pour les résultats contenus dans les tableaux 1 et 2

Essais considérés : comparaison des longueurs maximums admissibles pour des lignes d'abonné en câble utilisant respectivement des conducteurs pesant 6½ livres par mille et 10 livres par mille. Affaiblissement de la ligne de jonction : 32 décibels.

Causes de variation	Nombre de degrés de liberté	Variance	Rapport des variances	Importance statistique éventuelle (voir la note ci-dessous)
Combinaisons de deux opérateurs.	35	94,7	5,25	Très importante
Type de ligne (conducteurs pesant 6 ou 10 livres par mille)	1	21,2	1,175	Sans importance
Séquences	4	74,4	4,12	Très importante
<i>Effets d'interaction</i>				
Entre les séquences et les combinaisons de 2 opérateurs	140	10,14	0,562	} Sans importance
Entre le type de ligne et les combinaisons de 2 opérateurs	35	16,60	0,920	
Entre le type de ligne et les séquences	4	14,58	0,808	
<i>Variance résiduelle</i>	140	18,04	—	—

Note — Les rapports de variance supérieurs à la valeur critique à 1% près sont dits « très importants » (highly significant) ; ceux qui sont compris entre les valeurs critiques à 5% près et à 1% près sont dits « importants » (significant) et ceux qui sont inférieurs à la valeur critique à 5% près sont dits « sans importance » (not significant). Les rapports de variance critiques dépendent du nombre de degrés de liberté ; on peut en trouver les valeurs exactes dans des tables qui figurent dans des ouvrages classiques de statistique.

variances est faible, il est possible que la variance attribuée à une cause particulière soit uniquement le résultat des effets de prélèvements faits au hasard. Des tables statistiques (par exemple celles qui figurent dans l'ouvrage (4) et les courbes du rapport (6) indiquent, pour divers nombres de degrés de liberté, la probabilité pour qu'un rapport de variance donné soit dû aux effets de prélèvements faits au hasard. Pour un nombre donné de degrés de liberté, la valeur du rapport des variances, dont on peut s'attendre à ce qu'elle se rencontre seulement une fois sur 100 par le jeu du hasard, ou de prélèvements fortuits, est appelée la « valeur critique à 1% près ». Si le rapport des variances calculé pour une cause de variation donnée dépasse cette valeur critique, on dit, pour les applications envisagées dans le présent document, que cette cause est « très importante » au point de vue statistique (highly significant). Les rapports de variance compris entre les valeurs critiques à 5% près et à 1% près sont dits « importants » (significant). Les rapports de variance inférieurs à celui qui correspond à la probabilité de 5% sont dits « sans importance » (not significant) et l'on admet qu'ils proviennent des mêmes causes que la variance résiduelle.

Dans le tableau 3, la variance résiduelle est de 18,04 correspondant à un écart moyen quadratique de

$$\sqrt{18,04} = 4,25 \text{ ou } \frac{4,25}{20} \times 100\% = 21,25\%$$

La valeur prévue d'après la théorie de la distribution binômiale (voir le § 5.1), pour une probabilité de succès de

$$\frac{16,222}{20} = 0,8111 \text{ est de } 8,75\%$$

Ainsi, dans ce cas, la variabilité des résultats d'essais, une fois que l'on a tenu compte des causes de variation connues, est beaucoup plus grande que celle que l'on obtiendrait dans une expérience simple, au cours de laquelle la probabilité de succès resterait constante. Il est tout à fait possible d'obtenir des variances résiduelles voisines des valeurs théoriques et un exemple en est donné au § 7.2 ci-après.

Ce tableau d'analyse de la variance montre que la variance due aux combinaisons de deux opérateurs est très important et par conséquent on en conclut que les résultats *absolus* d'essais d'appréciation immédiate du type décrit dans le présent document ont peu de valeur, à moins d'employer une équipe assez nombreuse. Dans le cas présent, on a utilisé 36 combinaisons d'un opérateur qui parle et d'un opérateur qui écoute, et d'après le tableau 3 la variance due à ces combinaisons est de 94,7% correspondant à un écart moyen quadratique de

$$\sqrt{94,7} = 9,74 \text{ ou } 48,7\%$$

L'erreur moyenne quadratique sur la moyenne générale résultant de ces combinaisons d'opérateurs est de

$$\frac{48,7}{\sqrt{35}} \text{ ou } 8,1\%$$

Pour obtenir, sur la moyenne générale correspondant à cette expérience, une erreur moyenne quadratique de 1%, due aux variations entre les opérateurs de l'équipe, le nombre de combinaisons de deux opérateurs devrait être porté à environ 2370. Il est intéressant de déterminer si la variance due aux combinaisons de deux opérateurs provient de différences entre les opérateurs qui parlent, ou de différences entre les opérateurs qui écoutent, ou des deux. Ceci ne pourrait être déterminé avec précision que si chaque opérateur qui parle parlait à tous les opérateurs qui écoutent, ce qui n'était pas le cas dans l'expérience considérée. Toutefois, si l'on tire des tableaux 1 et 2 le résultat moyen pour chaque opérateur, quand il parle et quand il écoute, on trouve que les résultats moyens pour un opérateur qui parle présentent un écart moyen quadratique de 15,7% et les résultats moyens pour un opérateur qui écoute un écart moyen quadratique de 13,8%. Bien que ceci indique que les variations produites par les opérateurs qui parlent sont un peu plus importantes que celles qui sont produites par les opérateurs qui écoutent, des épreuves statistiques indiquent que la différence entre 13,8% et 15,7% n'est pas importante et qu'une telle différence se produirait 6 fois sur 10 expériences, en raison de variations dues au hasard.

Après la combinaison de deux opérateurs, la cause la plus importante de variation est constituée par les séquences (replications), c'est-à-dire par des répétitions de la même expérience. Il est important de déterminer si cela provient de variations fortuites ou résulte de quelque variation systématique, telle qu'il peut s'en produire parce que les opérateurs s'habituent à un certain type de distorsion et obtiennent des résultats de plus en plus élevés au cours de chaque

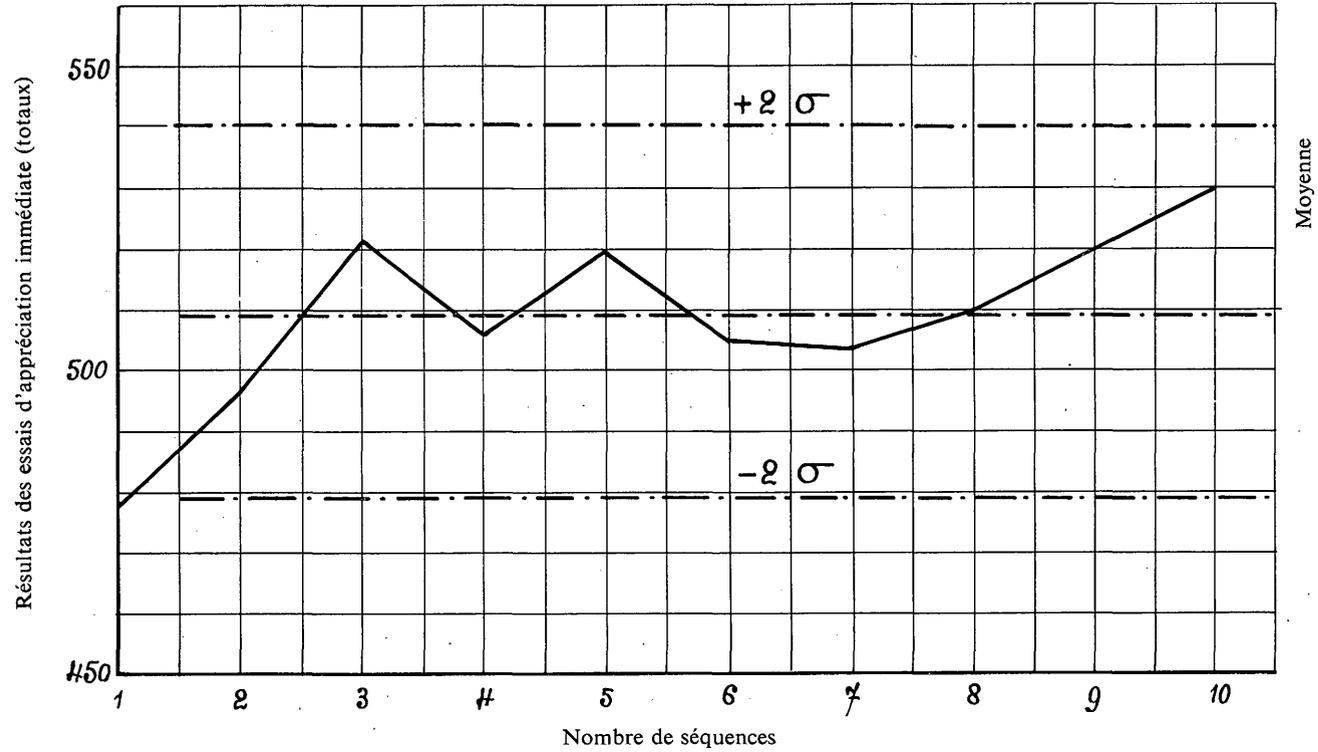


FIGURE 7. — Résultats (totaux) des essais d'appréciation immédiate en fonction du nombre de séquences

TABLEAU 4

Totaux par équipe pour les 10 premières séquences
et pour un affaiblissement de la ligne de jonction égal à 32 décibels

Séquence n°	Equipe n°										Total
	4		5		7		8		10		
	Type de ligne *	Total									
1	20 lb	94	6½ lb	96	10 lb	111	10 lb	86	10 lb	91	478
2	10 lb	94	20 lb	113	20 lb	106	6½ lb	77	20 lb	107	497
3	6½ lb	119	10 lb	106	6½ lb	108	6½ lb	100	6½ lb	89	522
4	10 lb	111	10 lb	118	10 lb	97	10 lb	84	10 lb	96	506
5	6½ lb	110	6½ lb	114	6½ lb	87	10 lb	91	6½ lb	118	520
6	6½ lb	117	6½ lb	114	6½ lb	88	10 lb	110	10 lb	76	505
7	10 lb	80	10 lb	109	10 lb	106	10 lb	96	10 lb	113	504
8	10 lb	108	10 lb	105	10 lb	105	6½ lb	115	6½ lb	77	510
9	10 lb	115	10 lb	111	6½ lb	98	6½ lb	109	6½ lb	88	521
10	6½ lb	105	6½ lb	94	6½ lb	110	6½ lb	110	6½ lb	112	531
Moyenne pour l'ensemble des séquences considérées = 509,4 (= 84,9%)											
Ecart moyen quadratique = 15,2											

* Poids des conducteurs, en livres anglaises par mile.

expérience successive. Le tableau 4 indique les totaux obtenus par chaque équipe pour les 10 premières séquences avec un affaiblissement de la ligne de jonction égal à 32 db. On n'a pas reproduit les résultats obtenus par l'équipe n° 3 parce qu'on ne disposait pas de résultats suffisants pour la valeur d'affaiblissement choisie de 32 db, mais on a fait figurer dans ce tableau les résultats correspondant aux trois types de ligne d'abonné. La figure 7 représente les moyennes correspondant à l'ensemble de chaque séquence. On voit qu'une élévation du taux d'appréciation immédiate s'est produite après la première séquence et qu'il y a eu aussi une croissance progressive au cours des dernières séquences. Il apparaît donc qu'il y a certains indices de l'existence d'un « effet de pratique expérimentale » (practice effect), mais d'une nature assez différente de celui qui a été observé dans les essais de netteté effectués avec des logatomes (7).

7. Application des essais d'appréciation immédiate à la comparaison de deux appareils téléphoniques

7.1 Méthode d'exécution des essais

On a décrit dans le rapport n° 3.333 du Laboratoire de recherches de l'Administration australienne (8) des essais comparatifs effectués sur deux postes d'opératrices différents. On donne ici une partie des résultats obtenus dans les essais à

TABLEAU 5

Comparaison du poste d'opératrice de l'Administration australienne et d'un poste d'opératrice fabriqué en Belgique

(Voir le rapport n° 3.333 du Laboratoire de recherches de l'Administration australienne)

Poste de l'Administration australienne : nombre de phrases « appréciées immédiatement » sur un total de 20 phrases lues

Opérateur qui écoute	Opérateur qui parle					Total par opérateur qui parle
	N.L.	E.McI.	P.B.	D.W.	E.M.	
N.L.	(17,7)	20	19	20	17	93,7
E.McI.	18	(20)	20	19	16	93
P.B.	18	20	(20)	20	17	95
D.W.	17	20	19	(19)	15	90
E.M.	17	20	20	20	(16,3)	93,3
Total par opérateur qui écoute	87,7	100	98	98	81,3	465,0

Poste fabriqué en Belgique

Opérateur qui écoute	Opérateur qui parle					Total par opérateur qui parle
	N.L.	E.McI.	P.B.	D.W.	E.M.	
N.L.	(19,75)	20	20	20	20	99,75
E.McI.	17	(18,1)	20	19	16	90,1
P.B.	19	20	(20)	19	19	97,0
D.W.	18	18	19	(17,1)	14	86,1
E.M.	17	16	20	16	(15,4)	15,4
Total par opérateur qui écoute	90,75	92,1	99,0	91,1	84,4	457,35

l'émission, afin de montrer qu'il est possible d'effectuer une expérience plus satisfaisante que celle qui a été décrite au § 6 ci-dessus, quand il existe des dispositifs d'écoute multiple. Dans ces essais, un amplificateur pour écoute multiple placé à la réception permettait à 4 opérateurs d'écouter simultanément chaque opérateur qui parlait. On pouvait donc utiliser effectivement une équipe de 5 opérateurs et obtenir un grand nombre de résultats en un temps relativement court. L'équipe employée comprenait 2 opérateurs masculins (désignés par les initiales E.McI. et D.W.) et 3 opératrices (N.L., P.B., et F.M.).

7.2 Résultats des essais

Le tableau 5 donne les résultats d'essais obtenus avec un affaiblissement de la ligne de jonction égal à 15 db. Il y a inévitablement, dans un tableau de cette sorte, une série de « valeurs manquantes » dues au fait qu'un observateur ne peut pas parler et écouter simultanément. Les valeurs manquantes dans ce tableau 5 ont été calculées au moyen de la technique décrite dans le rapport (6) et ont été mises entre parenthèses pour les distinguer des valeurs réellement obtenues au cours des essais. Le calcul des valeurs manquantes est une opération préliminaire nécessaire à l'analyse de la variance, dont les résultats figurent dans le tableau 6. Le résultat le plus important de ces essais est qu'il n'y a pas de différence importante au point de vue statistique entre les qualités de transmission à l'émission des deux postes téléphoniques considérés. Il est intéressant de remarquer qu'il y a une interaction importante entre les postes téléphoniques et les opérateurs qui parlent ainsi qu'entre les postes téléphoniques et les opérateurs qui écoutent, mais qu'il n'y a pas d'interaction importante entre les opérateurs qui parlent et les opérateurs qui écoutent. La principale cause de variation est la différence entre les opérateurs qui parlent et l'on estime qu'elle est principalement due à des différences dans le volume des sons vocaux émis. Il semblerait donc avantageux d'employer des valeurs déterminées du volume des sons vocaux émis, dans les essais où une telle disposition n'affecterait pas le résultat final, par exemple dans les cas où on ne doit pas tenir compte dans les essais de l'influence de l'effet local à l'émission.

TABLEAU 6

Comparaison du poste d'opératrice de l'Administration australienne et d'un poste d'opératrice fabriqué en Belgique

Résultats de l'analyse de la variance

Causes de variation	Nombre de degrés de liberté	Variance	Rapport des variances	Importance statistique éventuelle (voir la note ci-dessous)
Postes téléphonique	1	29,27	1,697	Sans importance
Opérateurs qui parlent	4	390,8	22,7	Très important
Opérateurs qui écoutent	4	159,3	9,25	Très important
<i>Effet d'interaction</i>				
Entre les postes téléphoniques et les opérateurs qui parlent	4	73,82	4,28	Important
Entre les postes téléphoniques et les opérateurs qui écoutent	4	82,44	4,78	Important
Entre les opérateurs qui parlent et les opérateurs qui écoutent	11	31,48	1,827	Sans importance
Variance résiduelle	11	17,42	—	—
Total	39			

Note — Les valeurs de variance figurant dans ce tableau ont été calculées à partir des taux d'appréciation immédiate, en %, correspondant aux résultats qui figurent dans le tableau 5.

La variance résiduelle de 17,42 (calculée d'après les taux d'appréciation immédiate, en %, correspondant aux résultats d'essais) peut être comparée favorablement à la valeur de 35,9 calculée d'après la loi de distribution binômiale (les écarts moyens quadratiques correspondants sont respectivement 4,15 % et 6,0 %), et par suite on en conclut que la méthode d'exécution des essais est efficace ; elle est plus efficace que dans les essais examinés ci-dessus où la valeur réelle de la variance résiduelle était approximativement égale à 2,5 fois la valeur calculée.

8. Calcul d'indices relatifs de qualité de transmission d'après les résultats d'essais d'appréciation immédiate

La définition de l'« indice de qualité de transmission » (par rapport au S.R.A.E.N.) figure dans le *Livre Vert* du C.C.I.F., tome IV, § 1.2 a). En partant de cette définition, il est évident que, si l'on prend comme critère de la qualité de transmission l'appréciation immédiate, on peut obtenir l'indice *relatif* de qualité de transmission d'un système, par rapport à un système de référence quelconque, en mesurant la distance en décibels entre les deux points d'intersection d'une droite d'appréciation immédiate constante avec les courbes donnant la variation du taux d'appréciation immédiate, pour chacun de ces deux systèmes, en fonction de l'affaiblissement de la ligne de jonction.

L'examen de la forme de courbes typiques indique que la valeur d'indice relatif de qualité de transmission obtenue dans n'importe quel cas particulier dépend de la valeur de taux d'appréciation immédiate choisie pour cette droite. Grinstead (1) a utilisé une valeur de 95 % ; toutefois il se produit fréquemment des cas où cette valeur n'est pas satisfaisante. Un tel cas se produit quand l'une des courbes, ou les deux, n'atteignent une valeur de 95 % pour aucune valeur de l'affaiblissement de la ligne de jonction. Dans d'autres cas, on peut atteindre une valeur de 95 %, mais la pente de l'une des courbes ou des deux peut être très faible pour cette valeur et dans un tel cas de petites erreurs sur les résultats des essais d'appréciation immédiate peuvent produire des erreurs importantes sur les indices relatifs de qualité de transmission.

D'autre part, l'emploi d'une droite correspondant à une faible valeur du taux d'appréciation immédiate ne peut pas se justifier parce que l'erreur moyenne quadratique sur le taux d'appréciation immédiate augmente quand ce taux diminue (voir le § 5.1 ci-dessus) et en outre une telle méthode pourrait avoir pour résultat qu'on obtiendrait un indice applicable seulement quand la qualité de transmission du système considéré ne serait pas satisfaisante au point de vue commercial.

En raison du fait que les résultats d'essais d'appréciation immédiate obtenus par une équipe d'opérateurs ne seront pas nécessairement obtenus de nouveau par n'importe quelle autre équipe, il n'est pas désirable de choisir une valeur invariable du taux d'appréciation immédiate pour évaluer les indices relatifs de qualité de transmission. On peut suggérer que la valeur du taux d'appréciation immédiate choisie corresponde par exemple à 90 % de la valeur maximum du taux d'appréciation immédiate moyen obtenu au cours de l'expérience considérée, mais cette méthode est encore sujette à l'objection que le système le moins bon peut ne pas atteindre une qualité de transmission suffisante pour rendre possible une évaluation de l'indice relatif de qualité de transmission avec la valeur de taux d'appréciation immédiate ainsi calculée.

Pour surmonter ces difficultés, et d'autres, on suggère que l'indice relatif de qualité de transmission pourrait être calculé d'après l'aire comprise entre les courbes donnant le taux d'appréciation immédiate en fonction de l'affaiblissement de la ligne de jonction pour le système de référence et pour la système essayé, respectivement, puisque l'indice ainsi déterminé dépendrait de la qualité de transmission du système sur tout un intervalle de variation de l'affaiblissement de la ligne de jonction.

Des suggestions analogues ont été faites par Pocock (9) au sujet des essais de netteté, dans le but d'obtenir une meilleure corrélation entre les indices relatifs de qualité de transmission déterminés par de tels essais et ceux qui sont déterminés par des mesures du taux de répétition. Bien que la méthode de détermination d'indices de qualité de transmission suggérée ci-dessus ait peut-être l'avantage de procurer une meilleure corrélation avec les indices déterminés d'après des mesures du taux de répétition, elle est suggérée dans le présent document principalement dans le but de s'assurer que les indices déterminés par des essais subjectifs se répéteront d'une façon satisfaisante quand on recommencera les essais. On ne peut pas faire de recommandations précises au sujet de la méthode de calcul d'indices relatifs de qualité de transmission d'un emploi général, à partir des résultats d'essais d'appréciation immédiate, avant d'avoir obtenu davantage d'expérience dans la technique des essais subjectifs, particulièrement en ce qui concerne la mesure des taux de répétition.

9. Conclusions

9.1 Remarques générales sur les essais d'appréciation immédiate

Les essais d'appréciation immédiate présentent sur les essais de netteté l'avantage important, en ce qui concerne le Laboratoire de recherches de l'Administration australienne, que les opérateurs de l'équipe n'ont besoin que d'un minimum d'entraînement préliminaire. La vérification et le calcul de taux d'appréciation immédiate est relativement simple.

Pour obtenir des résultats dont les valeurs *absolues* présentent une utilité, des équipes plus nombreuses que celles qu'on peut constituer au Laboratoire de l'Administration australienne sont nécessaires et par suite les essais effectués à l'avenir dans ces Laboratoires devraient être organisés et exécutés seulement comme essais comparatifs. L'emploi de dispositifs d'écoute multiple, tels que ceux qui ont maintenant été installés, permet d'effectuer des essais avec une précision satisfaisante en un temps beaucoup plus court que cela n'était possible antérieurement.

9.2 Emploi des résultats d'essais d'appréciation immédiate pour calculer des indices relatifs de qualité de transmission

On a discuté dans le présent document diverses méthodes de calcul d'indices relatifs de qualité de transmission à partir de résultats d'essais d'appréciation immédiate, mais dans l'état présent de la question on ne peut faire aucune recommandation satisfaisante. Ce problème est très analogue à un problème actuellement examiné par le C.C.I.F., à savoir la détermination d'« affaiblissements équivalents pour la netteté » (A.E.N.) à partir d'essais de netteté.

9.3 *Emploi de techniques d'analyse statistique appliquées aux essais d'appréciation immédiate*

On a montré que les techniques d'analyse statistique permettent d'estimer le nombre d'essais nécessaire pour obtenir un résultat donné. La méthode d'analyse de la variance est un instrument d'une valeur inappréciable pour apprécier la valeur des résultats d'essais.

9.4 *Qualité de transmission du système étalon de travail de l'Administration australienne*

Le système étalon de travail représentant la norme de qualité de transmission, pour un système complet, adoptée par l'Administration australienne des téléphones, d'après les directives techniques de transmission « General TS 2050 », a été essayé avec des lignes artificielles représentant des lignes d'abonné en câble ayant les longueurs limites proposées dans le cas de conducteurs pesant 6½, 10 et 20 livres par mile. Confirmant les calculs de qualité de transmission, les résultats d'essais d'appréciation immédiate montrent qu'il n'y a pas de différence importante au point de vue statistique entre la qualité de transmission de ces trois lignes artificielles.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) W. H. GRINSTED, The Statistical Assessment of Standards of Telephone Transmission. Engineering Supplement to *Siemens Magazine*, n° 140, janvier 1937 (la traduction française de cet article figure aux pages 2 à 22 du document C.C.I.F. — 1950/1951 — 4^{me} C.E. — Document n° 5 »).
- (2) J. R. HUGHES, Progress in the Study of Effective Transmission by "Immediate Appreciation" Tests and Statistical Assessment. Engineering Supplement to *Siemens Magazine*, n° 162, novembre 1938 (la traduction française de cet article figure aux pages 23 à 38 bis du document « C.C.I.F. — 1950/1951 — 4^{me} C.E. — Document n° 5 »).
- (3) J. R. HUGHES, The Comprehensive Assessment of Telephone Communication Efficiency. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, vol. 89, n° 8, III^e partie, p. 195, décembre 1942.
- (4) R. A. FISHER, *Statistical Methods for Research Workers*, 10^{me} édition, Oliver and Boyd.
- (5) L. H. C. TIPPET, *The Methods of Statistics*, 3^{me} édition, Williams & Norgate.
- (6) H. J. JOSEPHS, M. SLACK et J. M. KINSELLA, *The Analysis of Telephone Speech Tests*. British Post Office, Research Report n° 12.815.
- (7) H. FLETCHER et J. C. STEINBERG, Articulation Testing Methods. *Bell System Technical Journal*, vol. 8, octobre 1929, p. 806.
- (8) D. WAKE, *Examination of Telephonist's Telephone of Belgian Manufacture Submitted by Standard Telephone and Cables*. Commonwealth of Australia, Postmaster General's Department, Research Laboratory Report n° 3.333.
- (9) L. C. POCOCK, A survey of the Telephone Transmission Rating Problem. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, vol. 95, III^e partie, p. 253, juillet 1948.

MÉTHODE EMPLOYÉE PAR L'ADMINISTRATION BRITANNIQUE DES TÉLÉPHONES POUR UNE DÉTERMINATION SUBJECTIVE DE LA QUALITÉ DE TRANSMISSION TÉLÉPHONIQUE

1. Introduction

Le réseau téléphonique britannique a été développé en ayant comme objectif général de fournir le plus économiquement possible, une qualité de transmission que les usagers du téléphone jugent satisfaisante. L'expérience montre qu'il peut se produire des circonstances dans lesquelles, deux communications téléphoniques étant comparées par des usagers ordinaires du téléphone, celle qui fournit les meilleures valeurs de netteté (déterminées par une équipe d'opérateurs entraînés et très qualifiés) est jugée moins satisfaisante que l'autre communication qui donne de plus faibles valeurs de netteté. C'est-à-dire qu'il n'y a pas du tout une correspondance parfaite entre la satisfaction éprouvée par des usagers ordinaires du téléphone et les valeurs obtenues dans un essai de netteté. La validité de toutes les méthodes d'évaluation de la qualité de transmission, basées par exemple sur des essais de netteté, doit donc être examinée à la lumière des évaluations obtenues dans des conditions moins artificielles.

Par conséquent, l'Administration britannique des téléphones ne se fie pas entièrement à des méthodes très artificielles d'évaluation de la qualité de transmission telles que celles qui sont basées sur la force des sons vocaux reçus (équivalent de référence) ou sur la netteté (A.E.N.), mais elle emploie aussi plusieurs méthodes d'évaluation dans des « conversations libres » où l'on demande à des usagers ordinaires du téléphone, non entraînés, d'effectuer des tâches en rapport étroit avec l'emploi normal du téléphone. En fait, il est indésirable de se fier à un seul critère, quel qu'il soit, et ceci a conduit à une technique de « conversation libre avec critères multiples ».

Les projets de réseaux téléphoniques en Grande-Bretagne continueront à être basés sur les renseignements les plus récents concernant la qualité du matériel dans ses conditions pratiques d'emploi, plutôt que sur des conditions arbitraires et très artificielles. Pour l'application pratique qui consiste à obtenir des évaluations relatives (par exemple pour les projets de réseaux) de la qualité de transmission

de divers types de systèmes téléphoniques locaux utilisant le même combiné (microphone et récepteur) on estime que la méthode décrite dans l'annexe 2 ci-dessus (de ce volume) est toujours satisfaisante.

2. Quelques résultats d'expériences avec des méthodes de conversation libre

On donne ci-après les résultats de quelques expériences effectuées en vue de déterminer de quelle façon le rendement d'une communication téléphonique complète décroît à mesure qu'on diminue sa qualité de fonctionnement exprimée en fonction de grandeurs physiques. Le montage employé comprenait deux systèmes téléphoniques locaux, avec des lignes d'abonné correspondant à la longueur limite admise (systèmes semblables à ceux qui ont été fournis par l'Administration britannique pour les 8^{me}, 9^{me} et 10^{me} séries d'expériences du Laboratoire du C.C.I.F.), ces systèmes étant utilisés en présence d'un bruit de salle de 60 db (à spectre de Hoth) à chaque extrémité. Ces systèmes locaux étaient reliés par une ligne artificielle d'impédances égales à 600 ohms, dont on faisait varier l'affaiblissement. Les résultats sont exprimés sous forme de rendement de la transmission (jugée d'après plusieurs critères) en fonction de l'affaiblissement de la ligne.

Dans deux des expériences, on utilisait des méthodes de « conversation libre » avec des sujets non entraînés tandis que la troisième se composait d'essais de netteté effectués suivant la technique ordinaire avec des opérateurs entraînés. Dans la première expérience de « conversation libre » (A) on employait des sujets non entraînés et non techniciens, choisis en dehors du Centre de recherches de l'Administration britannique (Dollis Hill, Research station). Ceux-ci comprenaient en partie des abonnés ordinaires et en partie du personnel de services non techniques de l'Administration britannique des téléphones (par exemple Caisse d'épargne, services postaux, etc...). L'aptitude à utiliser le téléphone dans cette population ressemble probablement beaucoup à celle du public en général.

Dans la seconde expérience de « conversation libre » (B) on employait des sujets non entraînés qui travaillent au Centre de recherches de Dollis Hill, mais qui n'ont aucune autre relation avec les études sur la transmission de la parole. Il apparaît, d'après les résultats, que l'aptitude de cette population à utiliser le téléphone est légèrement supérieure à celle de la population A.

2.1 Observations des résultats obtenus par les usagers

La première série d'expériences porta sur un échantillon composé de 173 sujets faisant partie de la population A.

Les deux sujets formant un couple se tenaient chacun dans une cabine ; une opératrice les appelait, leur annonçait qu'ils étaient reliés et leur demandait d'échanger une conversation. La courbe *a* de la figure 1 indique le pourcentage de couples de sujets qui réussirent à entrer en contact, au besoin après confirmation par l'opératrice qu'ils étaient réellement reliés.

On a aussi tracé, pour cette population, la courbe *b* en portant en ordonnée le « rendement pour la transmission de messages » (Message Rate Efficiency). Après une conversation échangée librement, on chargeait les sujets d'effectuer, en utilisant la liaison téléphonique, une tâche définie (en fait la solution d'une énigme présentée sous forme de dessin ce qui obligeait les sujets à coopérer par

l'échange de paroles). On chronométrait le temps qu'ils mettaient à effectuer cette tâche. Le « rendement pour la transmission de messages » est le rapport du temps qu'ils auraient mis s'ils avaient utilisé un système de transmission parfait, au temps qu'ils ont mis réellement en employant le système considéré. Le première durée était estimée à partir de quelques observations complémentaires, où l'on chargeait le même couple de sujets de résoudre une énigme analogue par conversation directe dans l'air.

La seconde série d'expériences a porté sur environ 50 sujets faisant partie de la population B. Les résultats indiqués dans la figure 1 représentent respectivement le « taux de compréhension immédiate » (pourcentage « no mental effort ») dans le cas de la courbe *c* et la « netteté pour les mots » (word articulation) dans le cas de la courbe *d*. Ces observations ont été effectuées après que chaque couple de sujets eut effectué un essai de « rendement pour la transmission de messages » suivant la méthode décrite ci-dessus. L'essai de « compréhension immédiate » (« no mental effort » test) s'effectue de la façon suivante : un sujet lit une liste de phrases courtes, dont chacune contient une idée simple, tandis que l'autre sujet écoute et indique s'il a compris ou non le sens de cette phrase « sans effort intellectuel », c'est-à-dire sans avoir à hésiter et à réfléchir. Le pourcentage de phrases comprises sans effort intellectuel donne le « taux de compréhension immédiate ».

Les mêmes sujets effectuaient ensuite un essai de netteté en utilisant des mots anglais monosyllabiques, chacun inséré dans une phrase de liaison. On ne fixait pas la puissance vocale avec laquelle le sujet parlait, ni la façon dont il tenait le combiné.

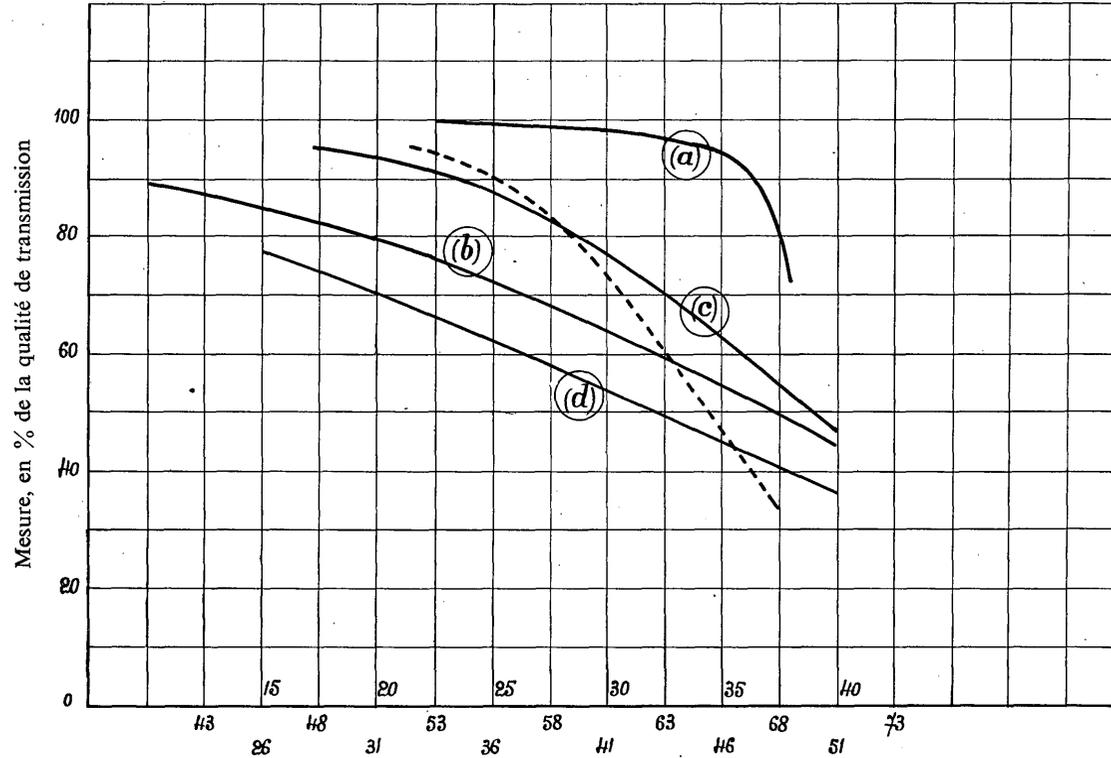
La courbe en trait interrompu de la figure 1 représente la variation de la netteté pour les mots obtenue par l'équipe d'opérateurs entraînés aux essais de netteté (population C) avec une puissance vocale maintenue constante et une position des lèvres fixe par rapport au combiné. Cette courbe est généralement très au-dessus de la courbe correspondante déterminée avec des sujets non entraînés, mais tombe au-dessous pour les plus fortes valeurs d'affaiblissement de la ligne, parce que, quand la communication devient de plus en plus mauvaise, les sujets non entraînés parlent avec une puissance vocale plus grande et peut-être plus près de l'embouchure du microphone, compensant ainsi dans une certaine mesure la diminution de qualité de la communication.

2.2 *Opinions subjectives émises par les usagers*

En plus de l'observation objective des résultats obtenus par les usagers en effectuant les diverses tâches décrites brièvement au § 2.1 ci-dessus, on demandait à ces sujets d'exprimer leur opinion subjective au sujet de la communication qu'ils venaient d'employer.

Dans la seconde expérience, qui portait sur des sujets appartenant à la population B, on demandait à ces sujets de classer la communication sur laquelle ils avaient effectué l'essai de « rendement pour la transmission de messages » dans une des catégories suivantes : bonne, assez bonne, médiocre et mauvaise. Ces catégories sont définies dans la légende de la figure 2. Les sujets exprimaient ces opinions avant d'effectuer l'essai de « taux de compréhension immédiate ». Les résultats sont représentés par la figure 2. La courbe inférieure indique le pourcentage de sujets qui ont exprimé l'opinion « bonne », en fonction de l'affaiblis-

La communication considérée comprend deux systèmes téléphoniques locaux, dont les A.E.N. ont les valeurs limites admises en Grande-Bretagne, en présence d'un bruit de salle de 60 décibels (à spectre de Hoth) ; ces deux systèmes sont reliés par une ligne artificielle dont l'affaiblissement est porté en abscisse.



Les grandeurs portées en ordonnées sont les suivantes :

Courbe a. — Pourcentage de couples de sujets ayant réussi à entrer en contact téléphonique (sujets non techniciens n'appartenant pas au centre de recherches de Dollis Hill).

Courbe b. — « Rendement pour la transmission de messages » (message rate efficiency) (sujets non techniciens n'appartenant pas au centre de recherches de Dollis Hill).

Courbe c. — « Taux de compréhension immédiate » (« percentage no mental effort ») (sujets non entraînés appartenant au centre de recherches de Dollis Hill).

Courbe d. — Netteté pour les mots (sujets non entraînés appartenant au centre de recherches de Dollis Hill, puissance vocale choisie librement).

Courbe en trait interrompu. — Netteté pour les mots (équipe d'opérateurs entraînés aux essais de netteté, puissance vocale fixée).

FIGURE 1. — Mesures, au moyen de divers critères, de la qualité de transmission en fonction de l'indice total de qualité de transmission

La communication considérée comprend deux systèmes téléphoniques locaux, dont les A.E.N. ont les valeurs limites admises en Grande-Bretagne, en présence d'un bruit de salle de 60 décibels (à spectre de Hoth) ; ces deux systèmes sont reliés par une ligne artificielle dont l'affaiblissement est porté en abscisse.

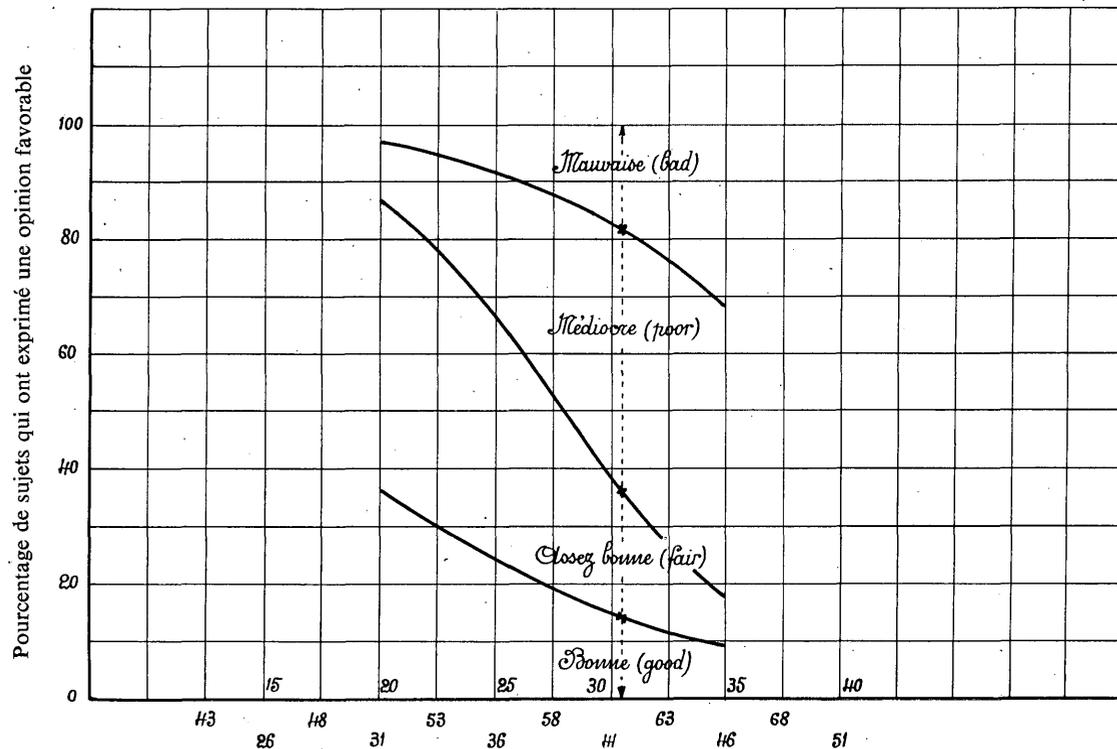


FIGURE 2. — Pourcentage des diverses opinions subjectives émises, en fonction de l'A.E.N. de l'ensemble de la communication

Les usagers, après avoir effectué un essai de « rendement pour la transmission de messages » classaient la communication dans une des catégories suivantes :

- « Bonne » (good) : aucun effort intellectuel appréciable n'était nécessaire.
- « Assez bonne » (fair) : un certain effort intellectuel était nécessaire pour échanger la conversation.
- « Médiocre » (poor) : la conversation était possible, mais avec beaucoup de difficulté dans le cas de mots peu communs.
- « Mauvaise » (bad) : communication utilisable seulement avec une extrême difficulté.

- ↖ Affaiblissement de la ligne, db
- ↖ Indice de qualité de transmission, db
- ↖ Equivalent de référence, db

sement de la ligne ; la courbe du milieu représente le pourcentage de sujets qui ont exprimé l'une des opinions « bonne » ou « assez bonne » ; enfin la courbe supérieure indique le pourcentage de sujets qui ont exprimé l'une des opinions « bonne », « assez bonne » ou « médiocre ».

2.3 Discussion des résultats

Les résultats expérimentaux représentés par les figures 1 et 2 peuvent servir à traiter le problème de la définition de limites de transmission. Dans ce but, il est commode de considérer aussi les échelles d'équivalent de référence et d'A.E.N. qui ont été également portées sur l'axe des abscisses.

Ces résultats d'expérience n'indiquent aucune limite précise au delà de laquelle on peut déclarer que la conversation téléphonique est impossible ; en fait, le trait le plus remarquable de la plupart des résultats est la décroissance relativement progressive du rendement des communications. Néanmoins, un affaiblissement de la ligne de l'ordre de 25 à 30 db semble une valeur raisonnable pour fixer une limite extrême de qualité de transmission. Ainsi, avec un affaiblissement de la ligne de 27 db (correspondant à un équivalent de référence de 38 db et à un A.E.N. de 58 db), on serait sûr que pratiquement tous les usagers de la population A pourraient entrer en contact l'un avec l'autre ; de tels usagers seraient alors en mesure de converser avec un « rendement pour la transmission de messages » de 70 %, c'est-à-dire que, pour transmettre un ensemble de messages donné, il leur faudrait un temps supérieur de 40 % à celui qui leur aurait été nécessaire au cours d'une conversation directe dans l'air. Il peut sembler que ce rendement n'est pas très élevé, mais (comme on peut également le voir d'après la courbe *b* de la figure 1) même une diminution de l'affaiblissement égale à 10 décibels fait croître seulement jusqu'à 84 % le « rendement pour la transmission de messages ».

Si l'on se rapporte à la figure 2, qui s'applique à un échantillon de la population B (population dont l'aptitude à utiliser le téléphone est légèrement supérieure à celle du public en général), on voit qu'une communication correspondant à un affaiblissement de la ligne de 27 db serait considérée comme « mauvaise » (bien qu'encore utilisable) par 12 % seulement des sujets et il se trouverait même 20 % des sujets pour la considérer comme « bonne ». Une amélioration de 10 db réduirait à environ 2 % la proportion de sujets exprimant l'opinion « mauvaise », mais environ 55 % des sujets considéreraient encore la communication comme n'étant pas « bonne ». Le passage de l'opinion « médiocre » à l'opinion « assez bonne » est plus critique, de sorte que, si l'on utilisait un affaiblissement en ligne de 27 db, il en résulterait que 55 % des sujets émettraient l'opinion « assez bonne » ou « bonne », tandis qu'une amélioration de 10 db porterait ce pourcentage à environ 90 %.

La limite extrême de qualité de transmission discutée ci-dessus s'appliquerait au cas, reconnu rare, d'une communication qui atteint la limite admise pour les projets de réseaux et qui est utilisée en présence d'un bruit de salle au niveau plutôt élevé de 60 db. La qualité de transmission du type le plus courant de communication téléphonique internationale est probablement supérieure d'environ 18 db à cette valeur limite. Si l'on tient compte du fait que le niveau le plus probable du bruit de salle est inférieur d'au moins 10 db à la valeur prise ci-dessus, cela équivaut à diminuer encore d'au moins 10 db la valeur d'A.E.N.

En admettant ces valeurs, la qualité de transmission de la communication la plus probable (modale), quand les projets de réseaux sont basés sur une limite globale d'A.E.N. de 58 db, s'obtiendrait donc en lisant sur les courbes des figures 1 et 2 les ordonnées qui correspondent à une valeur d'A.E.N. d'environ $58 - 18 - 10 = 30$ db. Cette valeur sort de l'intervalle de variation des résultats des expériences décrites ci-dessus, mais il est clair qu'elle correspond à une communication entièrement satisfaisante.

3. Autres applications de méthodes d'évaluation de la qualité de transmission au moyen de « conversations libres »

Le § 2 ci-dessus concerne surtout la fixation d'une limite de transmission. On peut toutefois appliquer la même méthode à l'évaluation de la qualité de transmission relative d'un système téléphonique par rapport à un autre.

MÉTHODE
D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE TRANSMISSION,
SUR LA BASE DE MESURES OBJECTIVES EMPLOYÉE
PAR L'ADMINISTRATION SUISSE DES TÉLÉPHONES

Résumé. — Le laboratoire de recherches et d'essais de l'Administration suisse des téléphones a pris l'initiative, d'entente avec le laboratoire du C.C.I.F. à Genève, de compléter par des mesures objectives les mesures subjectives de netteté que ce dernier avait effectuées sur des appareils téléphoniques. Le but de ces mesures est d'obtenir par des procédés objectifs l'affaiblissement équivalent pour la netteté (A.E.N.) déterminé au Laboratoire du C.C.I.F. par des mesures subjectives.

Après l'exposé des méthodes objectives employées, l'auteur compare les résultats acquis avec ceux obtenus dans les 8^{me}, 9^{me} et 10^{me} séries d'expériences du Laboratoire du C.C.I.F. et constate une concordance satisfaisante.

1. Principe du calcul de la netteté

H. Fletcher et R. Galt décrivent une méthode qui permet de calculer la netteté d'un système de transmission en partant de ses caractéristiques physiques (1). Cette méthode est appliquée aux calculs de netteté exposés ci-après et est décrite sommairement dans ses traits essentiels.

En calculant la netteté, on a constaté qu'il était indiqué d'établir un « indice de netteté » (articulation index). Celui-ci est fondé sur l'idée que chaque bande de fréquences d'un son émis par la voix contribue à la netteté indépendamment des autres bandes. La somme de ces diverses contributions donne la netteté totale. Dans leur article, Fletcher et Galt établissent la relation existant entre l'indice de netteté A et la netteté pour les sons « s ». Ils en tirent la formule suivante (voir figure 1) :

$$s = 1 - 10^{-\frac{A \cdot p}{0,55}}$$

ou p est un « facteur d'expérience » qui, pour une façon de parler et une écoute normales, peut généralement être considéré comme égal à 1.

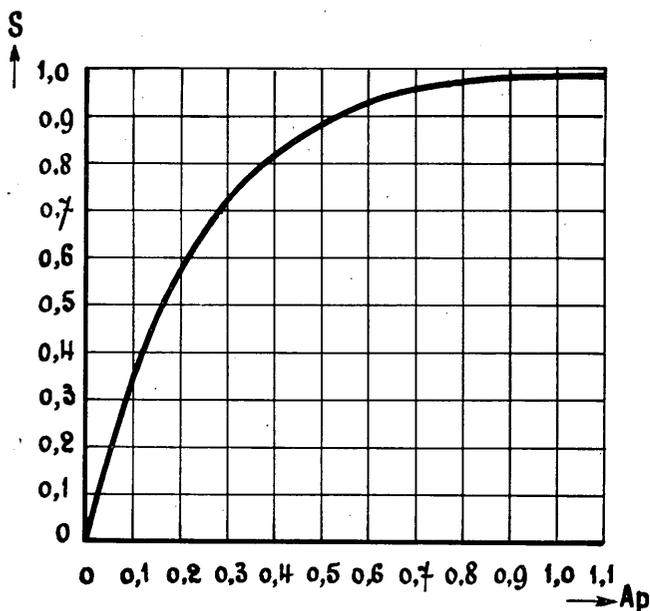


FIGURE 1. — Relation entre la netteté pour les sons et l'indice de netteté

Pour trouver l'importante fonction de pondération indiquant dans quelle mesure chaque bande de fréquences contribue à la netteté, on examine l'indice de netteté d'un système de transmission idéal au moyen de diverses fréquences de coupure. Si l'on désigne par A_f le plus grand index de netteté possible pouvant se présenter quand les essais sont faits au niveau d'audibilité optimum, la dérivée $d'A_f/df$ donne la fonction de pondération D cherchée. On a donc la relation :

$$A_f = \int_0^f D \cdot df$$

L'article en question indique en outre que l'indice de netteté d'un système de transmission quelconque se compose de quatre facteurs :

$$A = V.E.F.H.$$

Les deux facteurs V et E sont fonctions du niveau d'audibilité moyen au-dessus du seuil d'audibilité et tiennent compte de la modification de A quand des affaiblissements ou des amplifications supplémentaires sont insérés dans le système. V tient compte du fait que, quand le niveau diminue, des parties toujours plus nombreuses de la voix descendent au-dessous du seuil d'audibilité et ne peuvent plus fournir aucune contribution à la netteté. Quand intervient un bruit de salle, il se produit un effet de masque supplémentaire. Si l'on connaît la composition spectrale du bruit à l'entrée de l'oreille, on peut, à l'aide de la « largeur de bande critique », calculer l'élévation du seuil d'audibilité.

Si le niveau d'audition dépasse une certaine valeur, la haute pression acoustique fatigue l'oreille. Cette fatigue est exprimée par le facteur E . L'influence des deux effets a été examinée dans des essais de netteté et les valeurs de V et E sont indiquées dans des tableaux en fonction du niveau d'audition.

Le facteur F dépend uniquement de la forme de la caractéristique de fréquence. Il est une valeur maximum et indique l'influence exercée sur l'indice de netteté quand on choisit comme niveau d'audibilité du système celui où la voix est la plus nette. Ce niveau d'audibilité optimum se trouve à 68 db. La valeur de F est de 1 quand la courbe est plate et elle est comprise entre 0 et 1 pour n'importe quelle autre forme de courbe. Cette valeur est donnée par l'équation suivante :

$$F = \int_0^{\infty} D.W.df$$

D représente la fonction de pondération. Le facteur W détermine la réduction de dA dans l'intervalle df quand le niveau d'audibilité est inférieur au niveau optimum. On a pu obtenir la fonction W d'une façon idéale par des mesures de netteté effectuées sur un système dont le niveau de chaque intervalle de fréquences peut être réglé séparément. Les autres bandes de fréquences n'étaient influencées que lorsqu'il fallait de nouveau porter le niveau d'audition à la valeur optimum de 68 db pour la transmission totale.

Du fait que, lors de la transmission naturelle de bouche à oreille, les dimensions de la tête de l'auditeur sont la cause d'une transformation de la pression acoustique, il faut tenir compte du facteur « transmission orthotéléphonique » lors de l'enregistrement de la caractéristique de fréquence. Pour calculer la netteté, il faut tenir compte pour chaque fréquence de la différence en décibels entre le système téléphonique considéré et le système de référence orthotéléphonique.

Le quatrième facteur H dont dépend l'indice de netteté englobe toutes les influences qui ne sont pas contenues dans les trois autres facteurs. Il s'agit de l'occurrence de certains genres de distorsion de non-linéarité, de décalages de fréquences dans les systèmes à courants porteurs, etc...

Le but du présent travail est de calculer une courbe qui donne la relation existant entre la netteté d'un système et l'affaiblissement introduit dans ce système. Cela permet de calculer sur une base objective l'affaiblissement équivalent pour la netteté (A.E.N.) introduit par le C.C.I.F. comme nouvelle grandeur d'évaluation de la qualité d'un système téléphonique. Cette nouvelle grandeur repose sur la comparaison d'un système téléphonique commercial avec un système de référence et est par conséquent indépendante, dans une large mesure, des propriétés du groupe de mesure. Il n'est pas non plus absolument nécessaire, pour faire le calcul, de connaître le facteur d'expérience et la perte d'audibilité. La netteté absolue variera donc, mais la différence d'affaiblissement définie restera constante.

Pour calculer l'affaiblissement équivalent pour la netteté, il faut donc connaître les grandeurs suivantes :

1. Caractéristique de fréquence du système de référence et du système téléphonique.
2. Puissance vocale devant le microphone.
3. Bruits perturbateurs à l'entrée de l'oreille.

2. Mesure des caractéristiques de fréquence des microphones à charbon

Il est difficile de faire une mesure exacte et renouvelable de la caractéristique de fréquence d'un microphone à charbon, car la position réciproque des granules de charbon n'est pas définie d'une façon absolue et peut varier très sensiblement suivant la nature de l'excitation acoustique. C'est pourquoi les méthodes de mesure connues actuellement donnent souvent des résultats très différents.

En principe, les mesures objectives peuvent se répartir en deux groupes :

1. Mesure de la caractéristique de fréquence avec un spectre continu,
2. Mesure de la caractéristique de fréquence par sons purs.

Dans les deux cas, le microphone est excité acoustiquement, dans la position indiquée par les recommandations du C.C.I.F., au moyen d'une bouche artificielle.

2.1 Mesure de la caractéristique de fréquence avec un spectre continu

Pour mesurer la caractéristique de fréquence avec un spectre continu, on utilise comme source d'énergie un générateur de bruit. La pression acoustique engendrée se compose ainsi simultanément de toutes les fréquences de la gamme intéressée. A l'aide d'un analyseur de bruit, on détermine la composition spectrale de la tension de sortie du microphone à charbon. Lorsqu'on connaît le spectre du bruit, on peut facilement calculer la caractéristique de fréquence du microphone à charbon.

Du fait que l'énergie fournie par la voix s'étend simultanément sur un grand nombre de bandes de fréquences, ce genre d'excitation acoustique correspond aux conditions normales d'exploitation.

Bien que cette méthode de mesure soit claire, elle présente cependant une difficulté fondamentale. Le rapport entre la résistance de contact des granules de charbon et la pression acoustique n'est pas linéaire. Ainsi, quand le microphone est excité simultanément par plusieurs fréquences, sa distorsion engendre de nouvelles fréquences. Si, dans l'une quelconque des bandes, la somme des amplitudes de ces fréquences supplémentaires est plus grande que la tension utile de cette bande, la mesure de la caractéristique de fréquence est faussée.

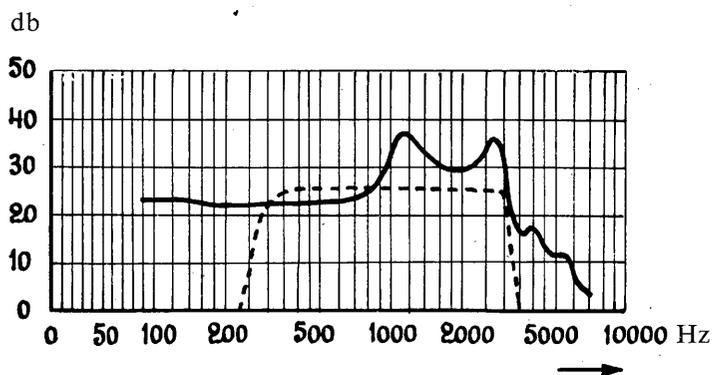


FIGURE 2. — Courbe de réponse du microphone A
(courbe pointillée : courbe spectrale énergétique du son)

Pour définir dans quelle proportion c'est le cas pour les microphones à charbon commerciaux, on fit l'expérience suivante : au moyen d'une bouche artificielle, on excita artificiellement deux types de microphones A et B. On utilisa comme source de son un générateur de bruit à caractéristique de fréquence plate. A l'aide de filtres, sa bande fut coupée à 280 et 3400 Hz. La pression acoustique effective sur la membrane du microphone était de 11,6 baryes. Les deux capsules furent mesurées montées sur un poste téléphonique.

Les figures 2 et 3 montrent les caractéristiques de fréquence mesurées.

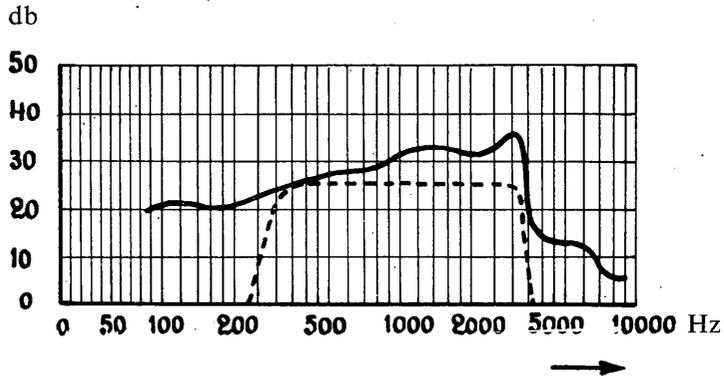


FIGURE 3. — Courbe de réponse du microphone B
(Courbe pointillée: courbe spectrale énergétique du son)

Du fait qu'il ne se produit pas de chute en dessous de la bande passante, on peut déduire que, par suite des distorsions dans le microphone à charbon, la somme des produits de modulation dans la gamme des fréquences basses est plus élevée que la tension utile. Cela apparaît surtout clairement pour le microphone A, où l'énergie par cycle reste constante en dessous de 500 Hz. Aux hautes fréquences, les harmoniques et les fréquences supplémentaires se font aussi sentir, mais ils sont bien moins gênants qu'aux basses fréquences.

Du fait que le facteur d'intermodulation du microphone à charbon se trouve entre 5 et 30%, on ne peut pas, comme l'expérience le confirme, s'attendre à obtenir avec l'analyseur du bruit des différences de niveau supérieures à 10 à 25 db dans la bande passante. Si l'on voulait mesurer de plus grandes fluctuations dans la caractéristique de fréquence d'un microphone à charbon à l'aide d'un bruit à spectre continu et d'un analyseur, il faudrait modifier en conséquence le spectre de la pression acoustique. Pour les fréquences vers lesquelles la sensibilité des capsules microphoniques est petite, il faudrait augmenter la pression acoustique pour diminuer la bande de fréquences sensible.

2.2 Mesure de la caractéristique de fréquence par sons purs

Pour mesurer la caractéristique de fréquence des microphones à charbon par sons purs, on utilise un oscillateur hétérodyne dont on fait varier la fréquence au moyen d'un mécanisme automatique, alors que la tension de sortie reste constante

pour toute la gamme des fréquences. Les exigences imposées, par cette méthode, à la caractéristique de fréquence de la bouche artificielle ne sont pas grandes. Du fait qu'à un moment donné il n'y a jamais qu'un seul son, on peut contrôler la pression au moyen d'un microphone étalon, et la maintenir constante à l'aide d'un amplificateur à régulation automatique.

Suivant le temps nécessaire pour parcourir une gamme de fréquences donnée, on distingue entre un balayage lent ou une variation rythmique de fréquences.

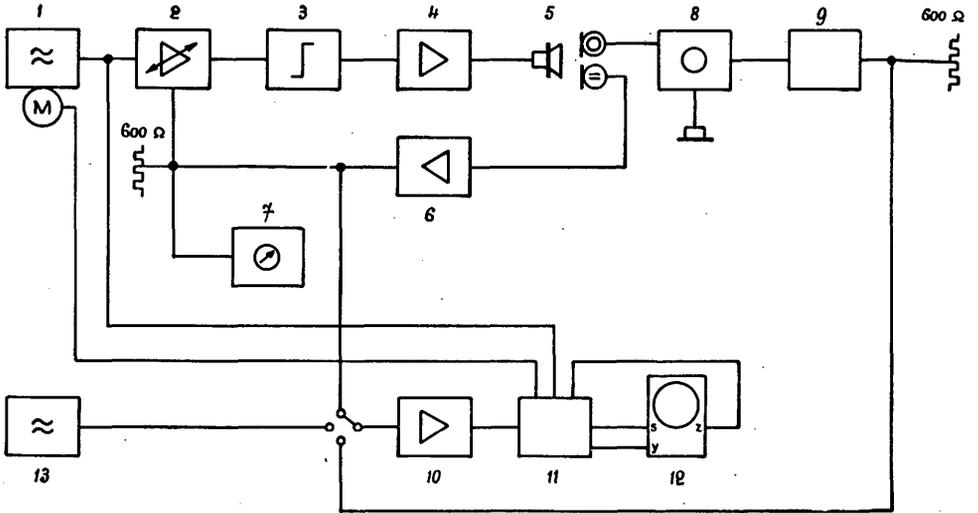
Pour mesurer la caractéristique de fréquence avec un balayage lent, on utilise le générateur de fréquences construit selon les recommandations du C.C.I.F. La gamme de fréquences de 30 à 10 000 Hz est balayée automatiquement en 121 secondes. Puisque le balayage est lent, les variations instantanées de tension restent petites et l'on peut utiliser pour l'enregistrement un instrument mécanique. L'inconvénient du balayage de fréquences lent est que, durant l'excitation acoustique, les granules de charbon du microphone ont le temps de se regrouper. Il arrive que ces microphones « s'endorment » et perdent entièrement leur sensibilité (voir figure 10).

Pour mesurer la caractéristique de fréquence par une variation rythmique des fréquences, l'oscillateur doit être réglé pour un balayage rapide des fréquences. La fréquence de répétition qui balaie toujours à nouveau la bande sur un rythme donné se trouve entre 1 et 5 Hz. De ce fait, les variations instantanées de tension sont grandes. On ne peut donc plus utiliser un hypsographe lent et l'on est obligé d'enregistrer la caractéristique de fréquence au moyen d'un oscillateur à rayons cathodiques. Pour pouvoir cependant mesurer les grandes différences de niveau, on intercale un amplificateur dont la tension de sortie est le logarithme de la tension d'entrée.

Nous décrivons ci-après un dispositif de mesure qui s'est très bien comporté pour la mesure des caractéristiques de fréquence des microphones à charbon. La figure 4 montre le diagramme d'ensemble d'un dispositif utilisé pour mesurer l'affaiblissement à l'émission d'un poste d'abonné.

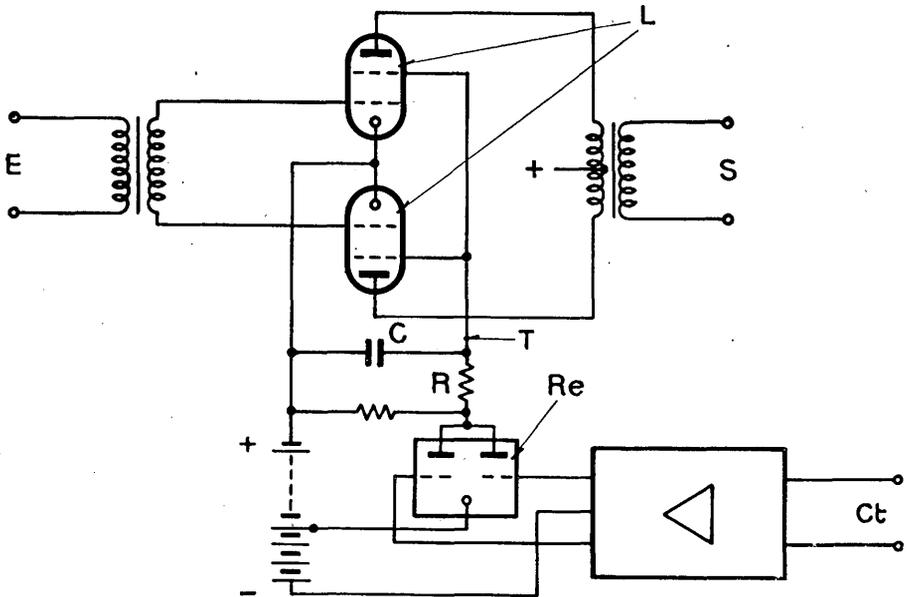
Comme générateur rythmique, on utilise un oscillateur hétérodyne ayant une bande de fréquence de 50 à 10 000 Hz. L'échelle des fréquences a une division logarithmique et la fréquence peut être réglée au moyen d'un condensateur de précision qu'on peut facilement tourner. Ce condensateur variable a un angle utile de 230° environ, mais peut être tourné de 360° et est couplé directement à l'axe d'un moteur d'entraînement.

Comme il est indispensable d'avoir une pression acoustique aussi constante que possible, on utilise un amplificateur à régulation automatique qui compense les variations de la caractéristique de fréquence de la bouche artificielle. Le choix de la constante de temps de cet amplificateur offre certaines difficultés. D'une part, il faudrait compenser les variations rapides et, d'autre part, laisser passer sans distorsion les fréquences basses. Une expérience a montré que la constante de temps pour un seul passage de fréquence par seconde doit être environ 0,05. Si l'on fixe en outre à 3,3% le degré de réglage de façon que toutes les variations soient ramenées au trentième de leur valeur, la fréquence de mesure inférieure restant encore sans distorsion et stable est d'environ 200 Hz. Il faut noter que le redresseur engendrant la tension de réglage est monté en push-pull (doublement des fréquences) et que les constantes de temps sont les mêmes dans les deux directions de réglage. Le schéma de principe de l'amplificateur à régulation automatique est représenté à la figure 5.



- | | |
|--|---|
| 1 = Oscillateur rythmique | 9 = Pont d'alimentation |
| 2 = Amplificateur à régulation automatique | 10 = Amplificateur logarithmique |
| 3 = Correcteur de distorsion | 11 = Générateur d'impulsions de synchronisation et d'impulsions de repérage |
| 4 = Amplificateur | 12 = Oscillographe cathodique |
| 5 = Bouche artificielle | 13 = Générateur d'ondes sinusoïdales |
| 6 = Amplificateur | M = Moteur d'entraînement |
| 7 = Volumètre | |
| 8 = Poste d'abonné | |

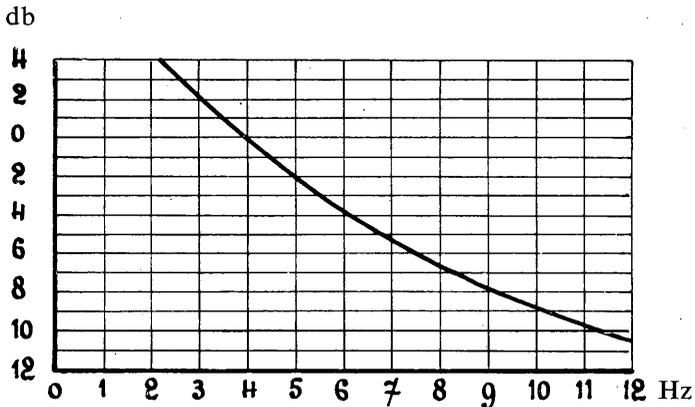
FIGURE 4. — Montage pour la mesure objective de l'efficacité à l'émission



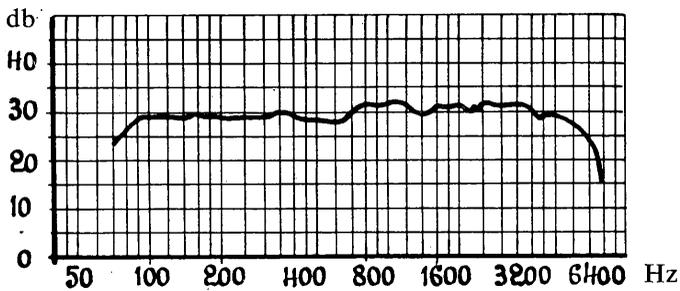
- | | | |
|------------------------|---------------------------------------|------------|
| T = Tension de réglage | Ct = Entrée de la tension de contrôle | E = Entrée |
| L = Lampes de réglage | Re = Redresseur | S = Sortie |

FIGURE 5. — Schéma de principe de l'amplificateur de réglage

La bouche artificielle qui engendre le champ acoustique a déjà été décrite dans une publication précédente (2). Rappelons-en seulement les principaux éléments. L'ouverture de la bouche trouvée par les moyens empiriques est une sorte de court pavillon s'ouvrant rapidement et empêchant la formation de faisceaux trop prononcés de hautes fréquences : elle ne présente aucune surface plane, ce qui empêche la formation d'ondes stationnaires entre le microphone à mesurer et la bouche artificielle. La figure 6 montre les propriétés de la bouche artificielle équipée d'un amplificateur et d'un correcteur.



1. Décroissance de la pression acoustique moyenne dans l'axe



2. Courbe de réponse

FIGURES 6. — *Caractéristiques de la bouche artificielle*

Comme le montre la figure 4, le microphone est mesuré dans un circuit normal avec tout le poste d'abonné et les ponts d'alimentation usuels d'un central téléphonique. La terminaison est de 600 ohms.

Contrairement aux amplificateurs logarithmiques usuels à temps de réglage, l'amplificateur utilisé donne un gain logarithmique instantané. A n'importe quel moment, la tension de sortie correspond au logarithme de la tension d'entrée. On peut ainsi étudier exactement les grandes et rapides variations qui se produisent lors des mesures de microphones par variations rythmiques des fréquences. Dans

l'amplificateur en question, on obtient par approximation la fonction logarithmique au moyen de parties linéaires. Entre les divers étages d'amplification, on intercale des parties de réseau linéaires composées de résistances ohmiques et de diodes à cristal avec tensions d'amorçage déterminées. La figure 7 montre le diagramme d'ensemble de l'amplificateur et la figure 8 la connexion des organes de couplage.

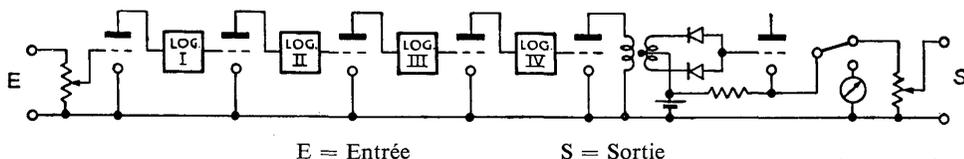


FIGURE 7. — Schéma de principe de l'amplificateur logarithmique

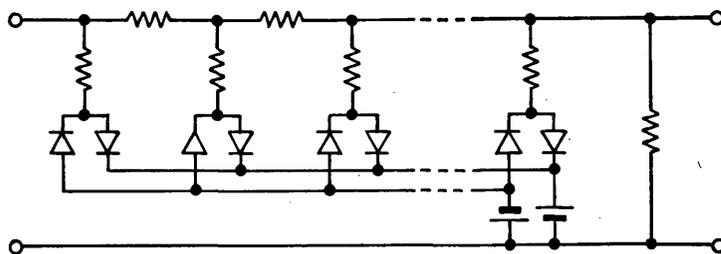


FIGURE 8. — Circuit de couplage (combinaison d'éléments linéaires)

Avec le redresseur en push-pull, on a la possibilité d'appliquer les deux demi-ondes du même côté de la ligne neutre. Si les enveloppes de deux demi-ondes se recouvrent, on peut dire avec certitude que les distorsions de non-linéarité d'ordres pairs sont petites. La distance des deux enveloppes est ainsi une mesure pour ces distorsions et le dispositif de mesure en question permet non seulement de déterminer la caractéristique de fréquence d'un microphone à charbon, mais aussi d'évaluer ses distorsions de non-linéarité. Pour rendre visible sur l'écran de l'oscillographe à rayons cathodiques la courbe enveloppe de la caractéristique de fréquence, on peut avoir recours à une position de service que possède, à cet effet, l'amplificateur et au moyen de laquelle, à l'aide d'une capacité, on peut écrêter la tension redressée.

Les caractéristiques électriques de l'amplificateur logarithmique sont :

— Etendue de l'amplification sans potentiomètre d'entrée	50 db.
— Précision des indications logarithmiques	$\pm 0,3$ db.
— Potentiomètre d'entrée étalonné, à 10 étages de	5 db.
— Résistance d'entrée	100 kOhms.
— Tension avec potentiomètre d'entrée	0,7 mV à 70 V.
— Tension de sortie redressée pour oscillographe à rayons cathodiques	0 à 5,5 V.
— Gamme de fréquences	30 à 50 000 Hz.

Les positions de service du commutateur sont :

1. Indication directe sur un instrument à 50 db.
2. On peut connecter un instrument externe de 5 mA (par exemple un instrument enregistreur).
3. Sortie directe de l'amplificateur prenant instantanément le logarithme pour la modulation de l'oscillographe à rayons cathodiques.
4. Sortie redressée de l'amplificateur.
5. Sortie redressée et filtrée pour la modulation de l'oscillographe à rayons cathodiques.

Le potentiomètre étalonné connecté à l'entrée de l'amplificateur permet de contrôler en tout temps l'exactitude des indications logarithmiques.

Comme instrument indicateur, on utilise un oscillographe à rayons cathodiques avec amplificateur à courant continu. La figure 9 montre comment on obtient la synchronisation de la base de temps et des repères de fréquences.

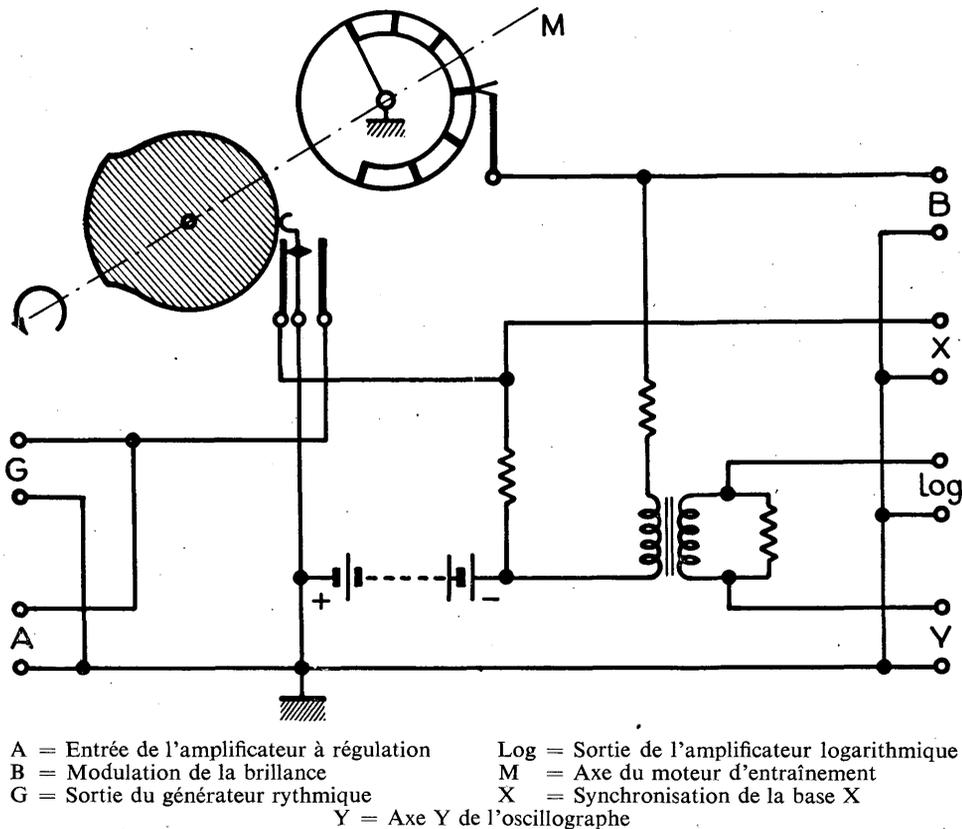


FIGURE 9. — Générateur d'impulsions de synchronisation pour l'oscillographe cathodique et d'impulsions de repérage pour l'oscillogramme

L'axe du moteur du générateur rythmique entraîne dans sa rotation deux disques avec cames et ressorts de contact. Le premier disque actionne un contact de commutation qui libère la sortie de l'oscillateur pendant l'angle utile de celui-ci

et court-circuite les bornes de sortie pendant le reste de l'angle. D'autre part, il donne l'impulsion de synchronisation pour le départ de la base X de l'oscillographe à rayons cathodiques. Le second disque portant les cames de contact engendre de brèves impulsions sous certaines positions angulaires réglables de l'axe. Au moyen d'un translateur, ces impulsions de tension sont superposées à la tension utile sur l'axe Y et engendrent sur l'image de l'oscillographe à rayons cathodiques des repères de fréquences visibles. Si l'oscillographe à rayons cathodiques possède un dispositif permettant, à l'aide d'une tension de commande externe, de moduler la brillance du rayon, on peut faire ressortir encore plus fortement les repères de fréquences.

Comme les expériences l'ont montré, le mieux est de balayer la bande de fréquences des plus hautes aux plus basses. Le charbon excité acoustiquement aux fréquences de résonance du microphone emploie une brève période de temps pour revenir au repos. C'est pourquoi la méthode de mesure par variations rythmiques de fréquences ne permet d'enregistrer exactement les flancs abrupts de la caractéristique de fréquence que si l'on passe de la fréquence la moins sensible à la fréquence la plus sensible. Du fait que dans la plupart des microphones à charbon la fréquence de coupure supérieure est particulièrement marquée, il vaut mieux commencer l'excitation acoustique aux hautes fréquences.

Un appareil accessoire permet de photographier les caractéristiques de fréquences apparaissant sur l'écran. L'étalonnage de l'axe Y se fait à l'aide du potentiomètre de l'amplificateur logarithmique. A la prise de vue de la caractéristique de fréquence, on superpose immédiatement celle des échelons de 5 db. Même les plus petites erreurs de l'indication logarithmique sont ainsi annulées et l'on peut mesurer très exactement la caractéristique de fréquence sur une copie agrandie de l'image.

La figure 10 montre la caractéristique de fréquence d'un microphone mesurée par un balayage lent des fréquences. La figure 11 montre la caractéristique de fréquence du même microphone sur l'écran de l'oscillographe à rayons cathodiques. On remarque clairement qu'avec la première méthode le microphone « s'endort » entre 400 et 1400 Hz. Avec l'autre méthode, la fréquence de résonance stimule à nouveau les granules de charbon et le microphone reprend sa sensibilité normale.

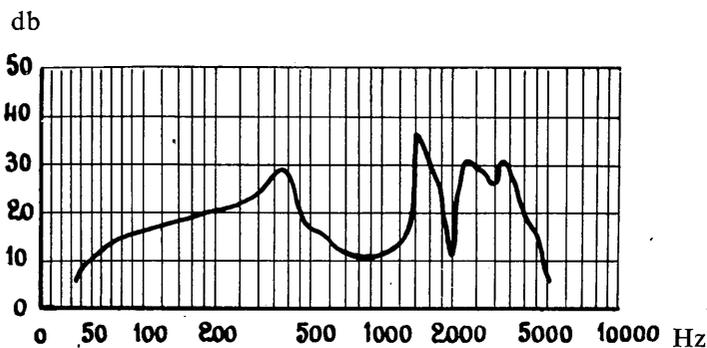


FIGURE 10. — Courbe de réponse d'un microphone à charbon, relevée avec balayage lent de la fréquence

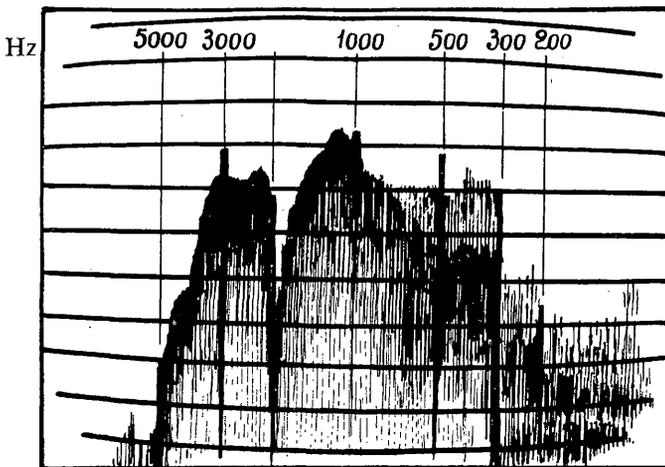


FIGURE 11. — *Courbe de réponse du même microphone, relevée avec un oscillateur rythmique*

3. L'oreille artificielle utilisée pour mesurer les récepteurs téléphoniques

Dans les récepteurs téléphoniques modernes, à grand rendement, dont l'impédance mécanique est relativement petite, on constate une réaction plus forte de la charge acoustique sur la caractéristique de fréquence. Les récepteurs de ce genre doivent donc être mesurés au moyen d'une oreille artificielle dont les propriétés acoustiques correspondent à celles de l'oreille humaine. Pour calculer la netteté, il est en outre indispensable de connaître la pression acoustique absolue à l'entrée de l'oreille humaine.

H. Weber (3) a décrit une oreille artificielle dont les propriétés acoustiques ont fait leurs preuves. En conséquence, on a repris sa construction de principe pour développer la nouvelle oreille artificielle.

Cette nouvelle oreille artificielle se compose également de deux cavités reliées entre elles par un canal fortement amorti. Pour les fréquences supérieures à 1000 Hz, on obtient ainsi une impédance acoustique plus élevée que celle correspondant au volume total des deux cavités. En outre, le canal de liaison fournit encore la résistance acoustique.

La première cavité entre le microphone à condensateur (type Western Electric 640 AA) et l'ouverture de l'oreille artificielle a un volume de 1,5 cm³. Celui de la cavité circulaire qui lui est couplée est de 1,4 cm³. Le canal de liaison se compose de 4 segments à 45° d'un anneau ayant des diamètres de 19 à 30 mm et une hauteur de 0,16 mm. Le volume total pour les basses fréquences est en conséquence de 3,0 cm³ et pour les hautes fréquences d'environ 1,5 cm³. A ces volumes, il faut ajouter dans chaque cas le volume compris entre le pavillon de l'écouteur et la limite extérieure à l'oreille artificielle.

La forme extérieure de l'oreille artificielle a été choisie de façon que, pour les formes de pavillons des récepteurs entrant en considération, elle corresponde aussi exactement que possible à l'oreille humaine. On a tenu compte à cet effet des résultats des mesures faites par K. Braun (4). Comme certains pavillons de récepteurs ont une ouverture de grand diamètre, on a donné à l'ouverture de la nouvelle

oreille artificielle une forme conique. La nouvelle construction a permis d'étendre le champ d'application et d'élargir aussi la bande de fréquences. La figure 12 montre la caractéristique de fréquences d'un récepteur étalon mesurée avec la nouvelle oreille artificielle.

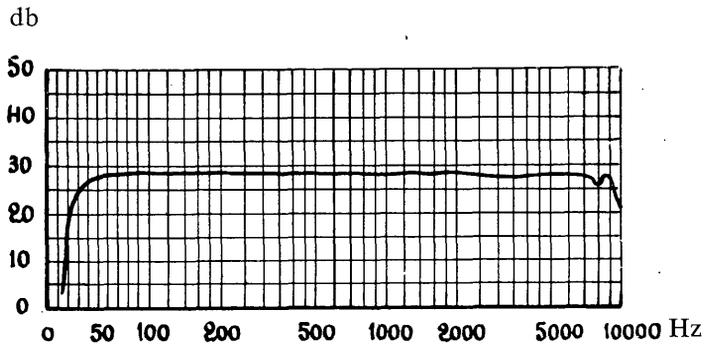
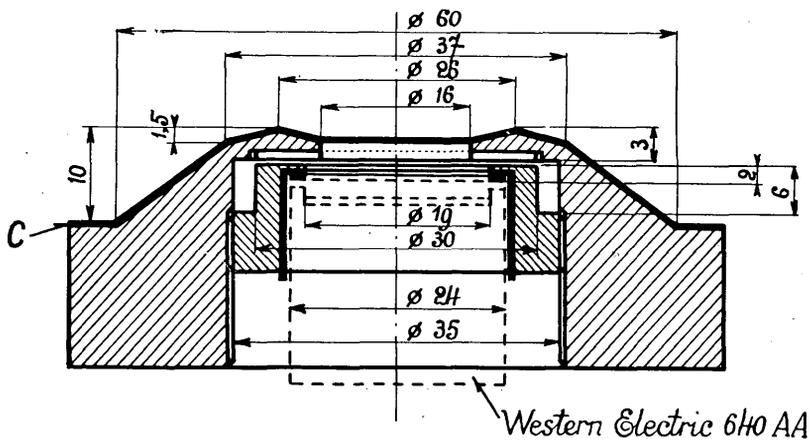


FIGURE 12. — Courbe de réponse d'un écouteur étalon, relevée avec la nouvelle oreille artificielle

Pour contrôler la forme extérieure, on a mesuré les systèmes récepteurs de postes téléphoniques de 6 administrations différentes et calculé l'affaiblissement équivalent d'après K. Braun (5). Le tableau 1 permet de comparer les valeurs ainsi obtenues à celles mesurées objectivement au Laboratoire du C.C.I.F.

La dispersion de ces valeurs se tient dans les limites imposées par la précision des mesures et des calculs et la concordance peut être considérée comme très satisfaisante.

La figure 13 donne une coupe de la nouvelle oreille artificielle.



C = Caoutchouc, épaisseur : 0,5

FIGURE 13. — Coupe de la nouvelle oreille artificielle

TABLEAU 1

Système n°	Forme du pavillon du récepteur	Calculé	Mesuré au Laboratoire du C.C.I.F.	Différence
		db	db	db
1	Fort, cavité conique.	2,5	3,1	0,6
2	Gros, plat	0,9	2,8	1,9
3	Moyen, cavité ronde	6,1	4,9	-1,2
4	Moyen, cavité ronde	8,1	7,6	-0,5
5	Fort, cavité conique.	3,5	4,5	1,0
6	Moyen, cavité conique.	1,3	2,5	1,2

4. Détermination du bruit perturbateur à l'entrée de l'oreille

L'effet de masque d'un bruit a pour effet d'élever le seuil d'audibilité. Des parties constitutives de la voix disparaissent dans le bruit et ne fournissent plus aucune contribution à la netteté.

Pour le calcul de la netteté, on doit se demander tout d'abord si, dans l'audition monoauriculaire, comme c'est le cas au téléphone, seul le bruit frappant l'oreille active a une influence ou si le bruit pénétrant dans la seconde oreille influence aussi la netteté. Pour s'en rendre compte, on a fait l'expérience suivante. On a mesuré le seuil d'audibilité de 12 personnes au moyen du récepteur d'un poste téléphonique. Le bruit de salle de 60 phones avait une caractéristique de fréquence plate. Lors du premier essai, l'oreille libre était ouverte ; lors du second, elle était entièrement fermée. Le tableau 2 indique, en db, par rapport à 1 V, la tension moyenne pour le seuil mesurée à l'entrée du poste.

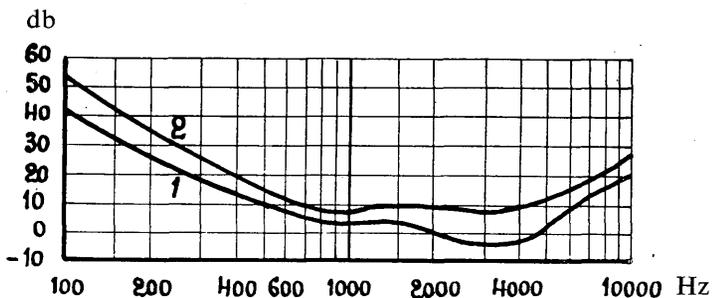
TABLEAU 2

Fréquences Hz	2 ^{me} oreille		Différence db
	ouverte db	fermée db	
200	-58,7	-59,7	+1,0
400	-70,0	-69,7	-0,3
800	-77,2	-78,8	+1,5
1600	-77,5	-78,5	+1,0
3200	-77,5	-79,7	+2,2

La dernière colonne du tableau 2 montre que le bruit pénétrant dans l'oreille ouverte vers la salle a une si petite influence qu'elle peut être négligée.

Le bruit de salle pénètre dans l'oreille placée sous le pavillon par deux voies : par le jeu entre le pavillon et l'oreille et par le microphone et l'écouteur ; c'est-à-dire par effet local. Si l'on dispose d'installations permettant d'engendrer le bruit de salle et si les personnes se prêtant à l'expérience possèdent un seuil d'audibilité

normal on peut déterminer directement l'effet de masque par une mesure du seuil d'audibilité. Cependant, il est souvent préférable de séparer et de connaître isolément les deux voies. Si l'on ne possède pas de microphone à sonde, on mesure l'affaiblissement acoustique du jeu entre le pavillon et l'oreille en procédant à une mesure de seuils d'audibilité pour un son pur. A cet effet, un haut-parleur fournit des impulsions sonores dont les amplitudes peuvent être réglées au moyen d'un affaiblisseur de précision. Les seuils d'audibilité déterminés par ces sons intermittents sont très exacts. La différence des valeurs par niveau ascendant et par niveau descendant n'est que de 1 db environ. On mesure à l'entrée du haut-parleur les tensions pour les seuils d'audibilité lorsque l'oreille est libre et lorsqu'elle est recouverte par l'écouteur. Le rapport de ces tensions diminué de l'élévation du seuil d'audibilité pour une oreille recouverte donne directement l'affaiblissement cherché. La figure 14 fait ressortir la différence des seuils d'audibilité quand on écoute dans un champ acoustique libre ou quand on écoute sous un pavillon de récepteur (voir H. Fletcher et R. Galt, *loc cit.*).



Courbe 1 : pour écoute mono-auriculaire en champ libre
 Courbe 2 : pour écoute mono-auriculaire sous le pavillon de l'écouteur

FIGURE 14. — Seuils d'audibilité en db au-dessus de $10^{-16} W/cm^2$

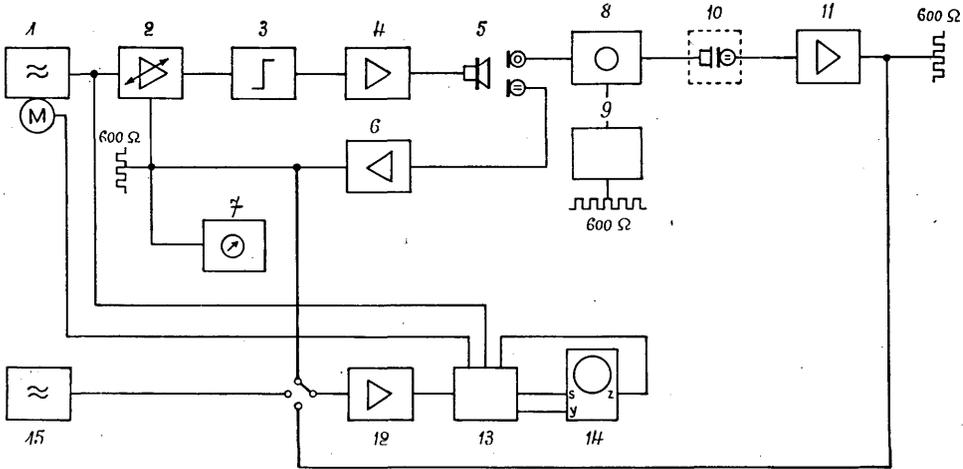
On tiendra évidemment compte, pour le calcul du bruit pénétrant dans l'oreille par le jeu entre l'oreille et le pavillon, de l'élévation de la pression acoustique due aux dimensions de la tête de l'auditeur.

Pour calculer le bruit qui pénètre dans l'oreille par le récepteur, on mesure l'affaiblissement de la voie d'effet local. Celui-ci peut être mesuré directement à l'aide de la bouche artificielle et de l'oreille artificielle selon la figure 15.

Les divers appareils ont déjà été décrits au § 2. La seule différence réside dans le fait qu'on ne cherche pas ici la tension à la sortie du poste d'abonné, mais qu'on mesure la pression acoustique sous le pavillon de l'écouteur au moyen de l'oreille artificielle. L'affaiblissement de la voie d'effet local dépendant dans une large mesure de l'impédance terminale du poste, le pont d'alimentation est fermé sur une résistance de 600 ohms.

A cause de la non-linéarité du microphone à charbon, la pression acoustique engendrée devant le microphone doit correspondre au bruit de salle constaté lors des essais de netteté. Si, pour exclure les bruits perturbateurs pendant la mesure de la caractéristique de fréquence, on veut mesurer à une plus haute pression acoustique, on est forcé, lors du calcul, de tenir compte du changement de sensibilité du microphone.

La transformation de pression due aux dimensions de la tête de l'auditeur ne se fait plus sentir à cause de la distance bouche-microphone. Selon nos mesures, l'accroissement de pression à une distance de 3 cm de la bouche, est d'environ $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ de l'accroissement orthotéléphonique. Cet accroissement est compensé en grande partie aux hautes fréquences par les effets directifs des microphones.



- | | |
|--|---|
| 1 = Oscillateur rythmique | 10 = Oreille artificielle |
| 2 = Amplificateur à régulation automatique | 11 = Amplificateur |
| 3 = Correcteur de distorsion | 12 = Amplificateur logarithmique |
| 4 = Amplificateur | 13 = Générateur d'impulsions de synchronisation et d'impulsions de repérage |
| 5 = Bouche artificielle | 14 = Oscillographe cathodique |
| 6 = Amplificateur | 15 = Générateur d'ondes sinusoïdales |
| 7 = Volumètre | M = Moteur d'entraînement |
| 8 = Pont d'abonné | |
| 9 = Pont d'alimentation | |

FIGURE 15. — Montage pour la mesure de l'équivalent de la voie d'effet local pour un poste d'abonné

5. Exemple de calcul et de mesure

Un système d'abonné de l'Administration suisse des téléphones a été mesuré dans des conditions identiques à celles dans lesquelles les mesures de netteté ont été effectuées au Laboratoire du C.C.I.F. Le système se composait de trois parties :

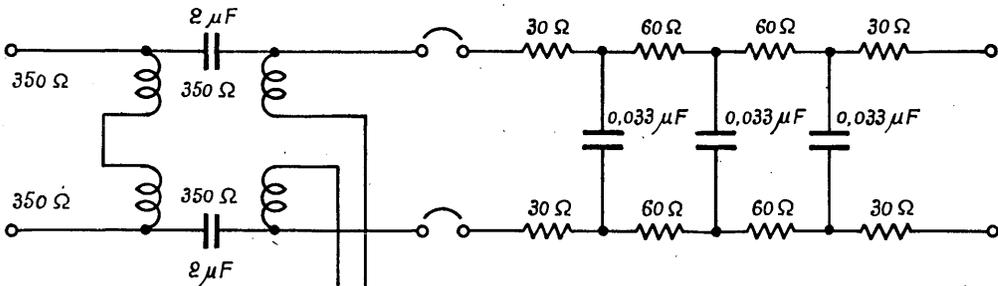


FIGURE 16. — Schéma du pont d'alimentation et de la ligne d'abonné

un poste téléphonique modèle 1950, une ligne d'abonné de 3 km et le pont d'alimentation. Les figures 16 et 17 donnent le schéma du dispositif.

A l'aide du dispositif de mesure décrit au § 2, on a mesuré les systèmes émetteurs de 5 postes d'abonnés. La pression acoustique à l'embouchure du microphone était de 11,3 baryes. La figure 18 montre, comme exemple, l'image du système étalon et d'un système d'abonné sur l'écran de l'oscillographe à rayons cathodiques. La sensibilité moyenne du système étalon étant de 26,6 mV/barye, on peut immédiatement en tirer la sensibilité du système commercial.

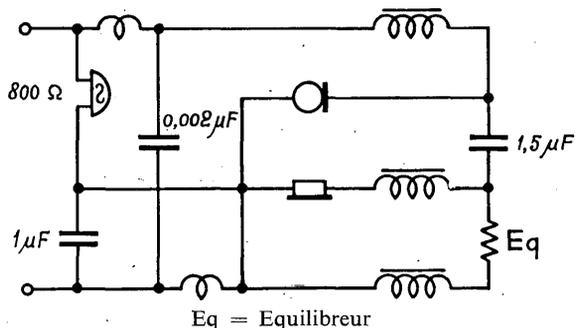


FIGURE 17. — Schéma de principe du poste d'abonné

Les systèmes récepteurs des cinq postes d'abonnés ont été mesurés selon la méthode habituelle au moyen d'un oscillateur à balayage lent, de l'oreille artificielle et de l'hypsographe.

Du fait que le système émetteur et le système récepteur sont mesurés séparément, un système quelconque peut être combiné avec d'autres systèmes pour le calcul de la netteté. La combinaison avec le système de référence utilisé au Laboratoire du C.C.I.F. pour les mesures de netteté (A.R.A.E.N.) est particulièrement intéressante.

Pour les quatre combinaisons suivantes, on a déterminé les qualités de transmission et calculé ensuite la netteté :

	Emission	Réception
1	R	R
2	CH	R
3	R	CH
4	CH	CH

R = Système de référence (A.R.A.E.N.)
 CH = Système d'abonné de l'Administration suisse

Dans chaque liaison fut inséré le filtre passe-bande 300/3400 Hz du système de référence.

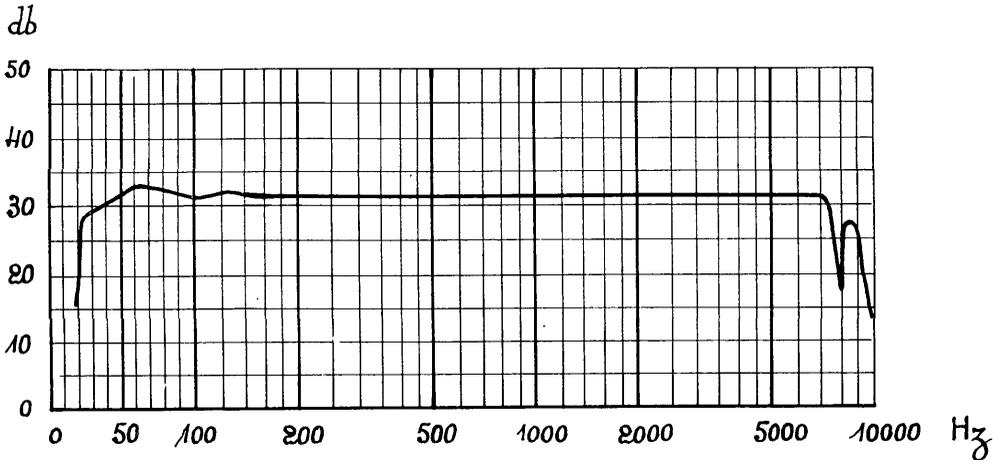


FIGURE 18 a. — Courbe de réponse du système de référence

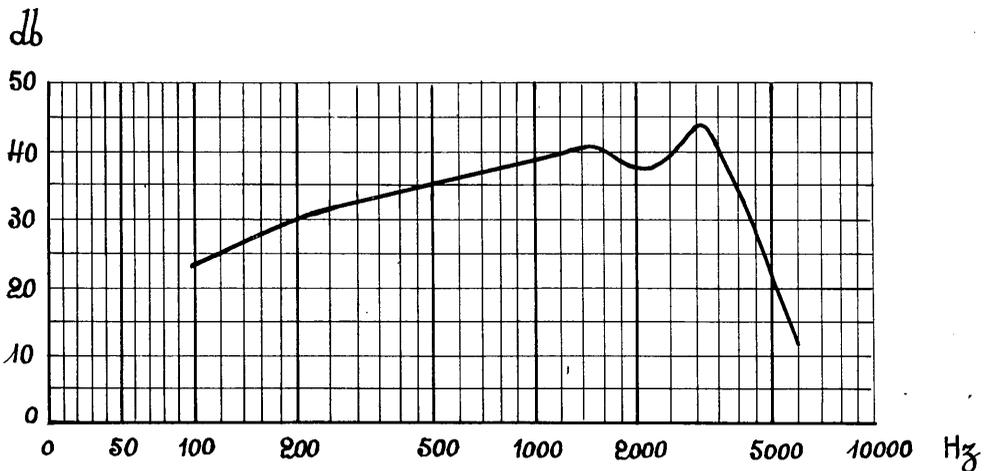
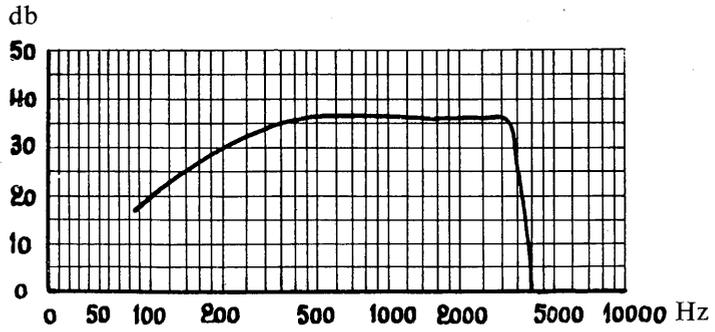


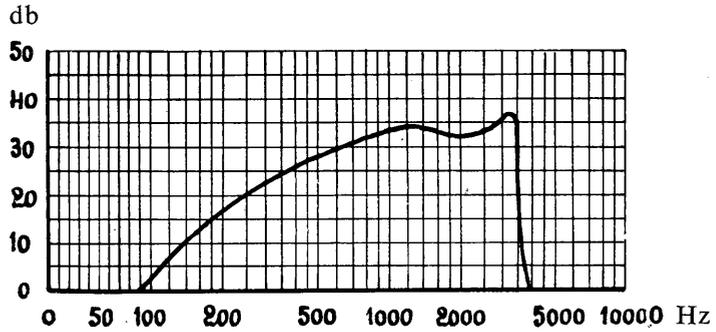
FIGURE 18 b. — Courbe de réponse du système commercial

Les caractéristiques de fréquence représentées par les figures 19 à 22 indiquent les différences entre ces systèmes et la liaison aérienne de 1 m. de long, avec audition monoauriculaire et correction orthotéléphonique, prise comme base de comparaison. Pour définir la puissance vocale, on admet qu'à une distance de 33,6 cm des lèvres de la personne qui parle la pression acoustique est de 1 barye. Il en résulte, d'une part, pour la distance normalisée selon les recommandations du C.C.I.F., à l'embouchure du microtéléphone suisse, modèle 1946, une pression acoustique de 11,3 baryes ou 95 db au-dessus de 10^{-16} W/cm². D'autre part, on a, pour cette puissance vocale, à une distance de 1 m. des lèvres de la personne qui parle, une intensité acoustique de 64,5 db au-dessus de 10^{-16} W/cm². Pour obtenir la pression acoustique dans l'oreille faisant règle pour la netteté, il faut ajouter à la dernière pression mentionnée les valeurs en db indiquées sur les figures 19 à 22.

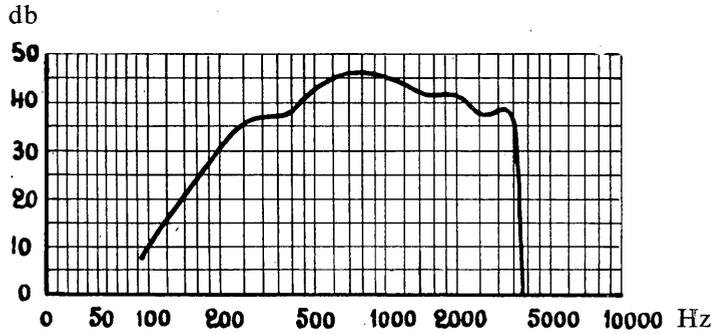
Pour déterminer le bruit perturbateur dans l'oreille active, on a mesuré l'affaiblissement acoustique du jeu entre le pavillon de l'oreille et le récepteur au



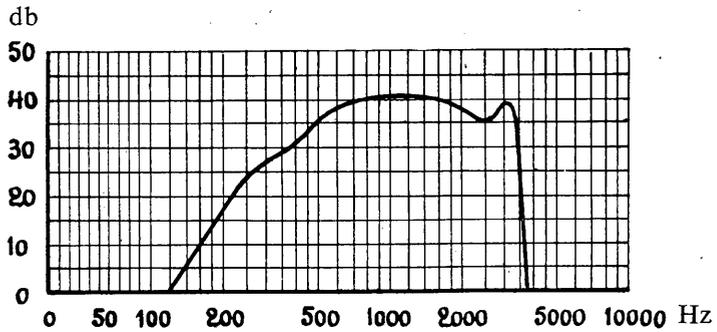
Système 1 = R/R



Système 2 = CH/R



Système 3 = R/CH



Système 4 = CH/CH

FIGURES 19 A 22. — Courbes de réponse des systèmes 1 à 4

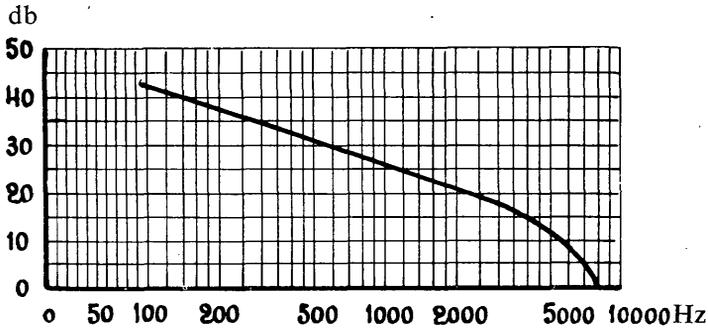


FIGURE 23. — Courbe spectrale énergétique du bruit de salle (d'après Hoth) au-dessus de $10^{-16} \text{ W/cm}^2 \text{ Hz}$ pour un niveau de 60 phones

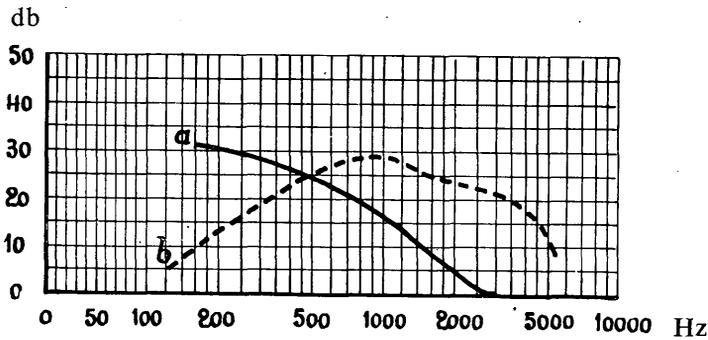


FIGURE 24. — Bruit perturbateur à l'entrée de l'oreille pour le système de référence

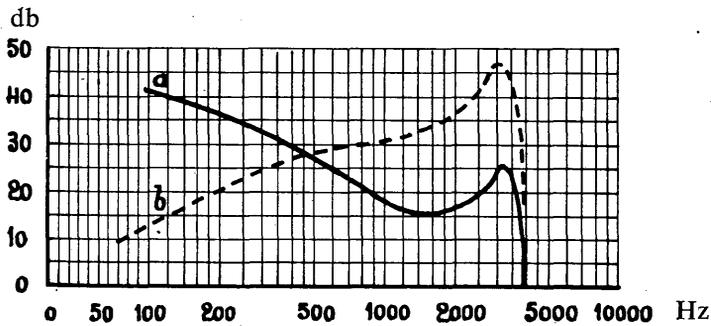


FIGURE 25. — Bruit perturbateur à l'entrée de l'oreille pour le système commercial

moyen du seuil d'audibilité et de l'affaiblissement de la voie d'effet local, selon le dispositif de mesure représenté à la figure 15.

Le bruit de salle moyen engendré dans le local de l'auditeur lors des mesures de netteté faites dans le Laboratoire du C.C.I.F. a une répartition d'énergie spectrale reposant sur les observations de Hoth. Le niveau a été fixé à 60 phones (voir figure 23).

Il en est résulté pour le système de référence le bruit indiqué à la figure 24 et pour le système commercial le bruit indiqué à la figure 25. La courbe *a* montre la répartition d'énergie spectrale par cycle à l'entrée de l'oreille et la courbe *b*, compte tenu de la largeur de bande critique, l'augmentation du seuil d'audibilité pour la parole due à l'effet de masque.

Les distorsions de non-linéarité du microphone à charbon ont été mesurées par la méthode de deux ondes sinusoïdales, suivant les recommandations du C.C.I.F. La différence entre les deux fréquences est restée constante et égale à 200 Hz. Si l'on désigne par β_o db le niveau moyen de sortie des deux ondes fondamentales et par β_d db le niveau de sortie du son différentiel, l'influence sur l'indice de netteté, si $(\beta_o - \beta_d)$ est plus petit que 25 db, sera donnée par l'équation suivante :

$$H = 1 - 0,009 [25 - (\beta_o - \beta_d)]$$

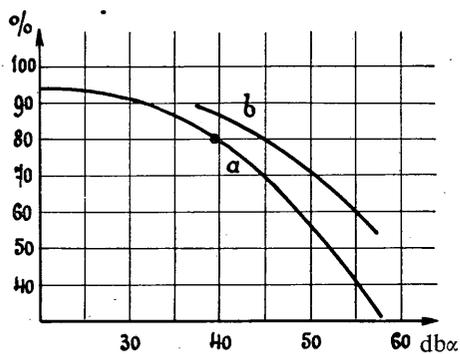
Pour la différence $(\beta_o - \beta_d)$, on a pris la valeur moyenne de 8 mesures différentes réparties uniformément sur la bande des fréquences.

Dans le tableau 3, on a reporté les principales grandeurs qui se présentent dans le calcul de H. Fletcher et R. Galt et indiqué les valeurs pour les quatre systèmes.

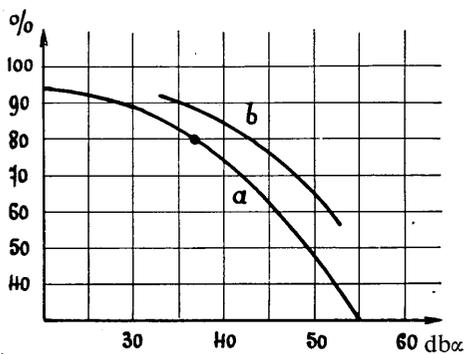
TABLEAU 3

		R/R	CH/R	R/CH	CH/CH
β_t	Niveau de la voix en db au-dessus de 10^{-16}W/cm^2	64,5	64,5	64,5	64,5
β_H	Perte d'audibilité en db (moyenne approximative estimée)	- 4	- 4	- 4	- 4
<i>R</i>	Caractéristique de fréquence rapportée au niveau moyen de la voix β_t . . .	fig. 19	fig. 20	fig. 21	fig. 22
<i>B</i>	Répartition d'énergie spectrale du bruit perturbateur.	fig. 24	fig. 24	fig. 25	fig. 25
<i>M</i>	Effet de masque	fig. 24	fig. 24	fig. 25	fig. 25
γ	Influence de la caractéristique de fréquence sur le niveau d'audibilité moyen.	0	0	0	0
$(R-M)_1$	Valeur moyenne de $(R-M)$	+11,0	+8,0	+14,0	+9,5
$(R-M)_4$		+ 8,0	+5,0	+ 7,5	+3,5
α	Gain supplémentaire en db intercalé dans le système	α	α	α	α
$-\alpha_o$	Affaiblissement à intercaler dans le système pour amener le niveau de la voix au seuil d'audibilité.	-67,5	-64,5	-70,5	-66
<i>F</i>	Influence de la caractéristique de fréquence sur l'indice d'audibilité . . .	0,825	0,821	0,775	0,779
<i>p</i>	Facteur d'expérience (groupe de mesure expérimenté)	1	1	1	1
$\beta_o - \beta_d$	Affaiblissement de distorsion en db	∞	26	∞	26
<i>H</i>	Influence des distorsions de non-linéarité sur A	1	1	1	1

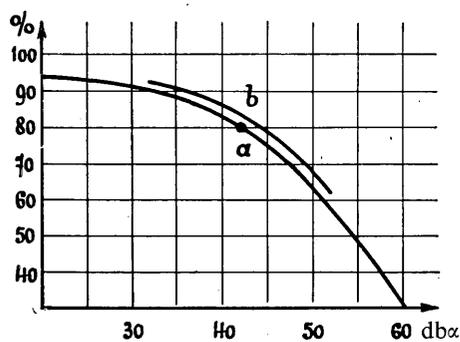
L'effet de masque de la propre voix de l'opérateur est petit par suite de la pente raide des hautes fréquences et peut être négligé pour le calcul de l'A.E.N. du fait qu'il exerce à peu près la même influence sur tous les systèmes. Dans le calcul, on n'a fait aucune correction pour le facteur F . On a également constaté que l'influence de la non-linéarité du microphone sur le facteur F était négligeable.



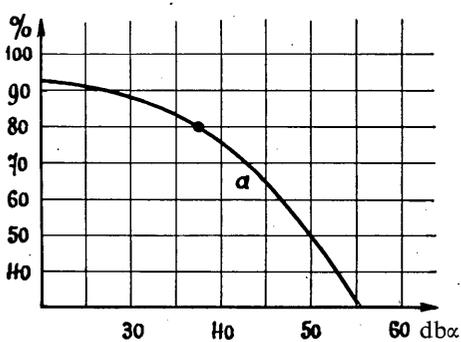
Système 1 = R/R



Système 2 = CH/R



Système 3 = R/CH



Système 4 = CH/CH

FIGURES 26 A 29. Courbes de variation de la netteté pour les sons des quatre différents systèmes, en fonction de l'affaiblissement de la ligne

Les figures 26 à 29 montrent les nettetés pour les sons en fonction de l'affaiblissement supplémentaire intercalé dans le système. La courbe a a été établie par le calcul et la courbe b représente les résultats des mesures subjectives faites au Laboratoire du C.C.I.F.

Dans le tableau 4, on a reporté les valeurs de α pour une netteté pour les sons de 80%. La comparaison avec le système de référence (A.R.A.E.N.) donne les valeurs d'A.E.N. cherchées.

TABLEAU 4

Systèmes		α pour 80%		Différence db	A.E.N.		Différence db
		Calculé db	Mesuré au Laboratoire du C.C.I.F. db		Calculé db	Mesuré au Laboratoire du C.C.I.F. db	
1	R/R	-40,0	-45,6	-5,6	0	0	
2	CH/R	-37,2	-43,2	-6,0	2,8	2,4	0,4
3	R/CH	-42,1	-44,6	-2,5	-2,1	1,0	3,1
4	CH/CH	-37,8	—	—	2,2	—	—
				-4,7 (moyenne)			

6. Comparaison du calcul objectif et de la mesure subjective de l'A.E.N.

Du fait que l'affaiblissement équivalent pour la netteté a été introduit comme nouvelle grandeur pour juger la qualité d'un système téléphonique, la comparaison entre le calcul et la détermination subjective présente un grand intérêt. A cet effet, on a mesuré, selon la méthode décrite ci-dessus, les systèmes d'abonnés d'autres administrations sur lesquels le Laboratoire du C.C.I.F. avait déjà fait les mesures de netteté des 8^{me} et 9^{me} séries d'expériences, et on a calculé la netteté. A part le niveau de la voix, qui était de 2 db plus faible, toutes les conditions étaient les mêmes que dans l'exemple décrit ci-dessus. Le tableau 5 donne une récapitulation des résultats. Les différents systèmes d'abonnés sont numérotés de I à V.

La colonne des $\Delta\alpha$ fait constater que, lors de la détermination des A.E.N. au Laboratoire du C.C.I.F., l'affaiblissement était en moyenne de 7,7 db plus élevé. Comme la perte d'audibilité et le facteur d'expérience du groupe d'essai sont inconnus, on ne peut pas dire grand chose de cette différence: Il est à supposer toutefois que les consonances d'espéranto bien définies utilisées pour les essais étaient plus facilement compréhensibles que les consonances anglaises qui sont à la base du calcul de netteté.

La colonne des Δ A.E.N. permet d'établir les moyennes suivantes :

Combinaison		Ecart moyen
Emetteur	Récepteur	
X	R	2,0
R	X	3,3
X	X	-0,2
R = Système de référence X = Système commercial		

TABLEAU 5

Système Emetteur	Système Récepteur	F	H	α_0	α pour 80%		$\Delta\alpha$	A.E.N.		Δ A.E.N.	
					Calculé	Mesuré au Laboratoire du C.C.I.F.		Calculé	Mesuré au Laboratoire du C.C.I.F.		
						8 ^{me} série					9 ^{me} série
R	R	0,825	1,0	db	db	db	db	db	db	db	
I	R	0,800	0,865	-65,5	-38,0	-46,1	-48,0	-9,1	0	0	0
R	I	0,777	1,0	-49,0	-17,0		-21,5	-4,5	21,0	26,5	5,5
I	I	0,779	0,865	-69,9	-35,6		-41,7	-6,1	2,4	6,3	3,9
II	R	0,814	0,946	-44,4	-8,6	-61,7		-8,1	29,4	29,4	0
R	II	0,785	1,0	-54,5	-26,0		-36,3	-10,3	12,0	11,7	-0,3
II	II	0,767	0,946	-63,6	-30,6		-35,2	-4,6	7,4	12,8	5,4
III	R	0,788	0,955	-50,1	-16,2	-19,0		-2,8	21,8	27,1	5,3
R	III	0,746	1,0	-54,3	-22,6		-32,6	-10,0	15,4	15,4	0
III	III	0,734	0,955	-62,8	-24,0		-32,1	-8,1	14,0	15,9	1,9
IV	R	0,797	0,820	-41,8	-2,9	-16,6		-13,7	35,1	29,5	-5,6
R	IV	0,759	1,0	-45,5	-13,7		-21,5	-7,8	24,3	26,5	2,2
IV	IV	0,746	0,820	-62,3	-28,7		-36,3	-7,6	9,3	11,7	2,4
V	R	0,804	0,820	-40,2	-1,5	-7,4		-5,9	36,5	38,7	2,2
R	V	0,752	1,0	-56,3	-23,5		-31,1	-7,6	14,5	16,9	2,4
V	V	0,775	0,820	-71,2	-32,8		-39,9	-7,1	5,2	8,1	2,9
				-52,8	-14,3	-24,8		-10,5	23,7	21,3	-2,4
								-7,7			

CALCULS D'A.E.N.

Comme les expériences l'ont montré, la méthode de mesure et de calcul décrite donne la possibilité de déterminer l'A.E.N. d'un système inconnu d'après ses caractéristiques physiques. Les écarts par rapport à la mesure subjective directe sont dus à la difficulté qu'il y a à saisir les conditions réelles dans lesquelles se font les mesures de netteté et à en tenir compte dans les calculs. Même si les valeurs absolues sont affectées de certaine dispersions, on peut cependant déterminer exactement, pour un système connu, l'influence des divers éléments constituant la voie de transmission, ce qui, pour la planification des réseaux téléphoniques, est d'une très grande importance.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) H. FLETCHER et R. GALT. — *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 22 (1950), p. 89.
- (2) H. WEBER. — Téléphonometrie. *Bulletin technique des P.T.T.* Vol. 24 (1946), p. 1.
- (3) H. WEBER. — Beitrag zum Aufbau des orthotelephonischen Übertragungssystems. *Bulletin technique des P.T.T.*, Vol. 24 (1946), p. 145.
- (4) K. BRAUN. — Die akustischen Abschlussbedingungen für die Messung der Fernhörer, *T.F.T.* Vol. 32 (1943), p. 237.
- (5) K. BRAUN. — Die Bezugsdämpfung und ihre Berechnung aus der Restdämpfungskurve (Frequenzkurve) eines Übertragungssystems, *T.F.T.* Vol. 28 (1939), p. 311.

