

# 38

# *votre Carrière*

## REVUE de TECHNIQUE RADIO

magazine des futurs électroniciens



hebdomadaire pour la formation professionnelle - 17 - 23 novembre 1965 - le numéro 1,60 F.

SUISSE . . . . . 1,70 FS

BELGIQUE . . . . . 23 FB

MAROC . . . . . 1,85 Dh

ALGERIE . . . . . 1,80 FA

TUNISIE . . . . . 1,70 M

ALLEMAGNE . . . . . 1,80 DM

GRANDE - BRETAGNE 3,5 sh

CANADA . . . . . 50 cts

U.S.A. . . . . 50 cts

# vostra Carrière

revue hebdomadaire

**DIRECTION - ADMINISTRATION - ABONNEMENTS:** Editions CHIRON - 40, rue de Seine  
Tél. 633.18-93 - Paris (6<sup>e</sup>) - C.C.P. 53-35.



La revue est en vente aux kiosques, chaque semaine: si le kiosque en est démuné, demandez l'envoi hebdomadaire directement à votre domicile.

Directrice: *Mme Etienne Chiron.*  
Secrétaire de rédaction: *J. Lavergne*

## ABONNEMENTS

Les abonnements peuvent être souscrits en cours d'année, à n'importe quelle date. Les numéros déjà parus au moment de la souscription seront envoyés en une seule expédition.

France - 1 an (52 numéros) = 70 F;  
6 mois (26 numéros) = 38 F. -  
Etranger - 1 an = 90 F - Si vous possédez déjà des numéros, vous pouvez déduire la somme de 1,20 F par numéro.

S'adresser aux Editions CHIRON - rue de Seine, 40 - Paris - C.C.P. 53-35.

Les anciens numéros peuvent être commandés séparément au prix unitaire (1,60 F).

Aucun envoi contre remboursement.

## RENSEIGNEMENTS

Toute demande de renseignements doit être accompagnée d'une enveloppe timbrée à votre adresse.

S'adresser: Editions CHIRON - rue de Seine, 40 - Paris.

## PUBLICITE

PUBLEDITEC - 13, Rue C. Lecoq  
Tél. 250.88-04 et 88-05 - Paris, 15<sup>e</sup>.

Cette Revue sera contrôlée par l'O. J. D.

## DISTRIBUTION

Nouvelles Messageries de la Presse Parisienne - 11, Rue Réamur - Paris.

## COPYRIGHT

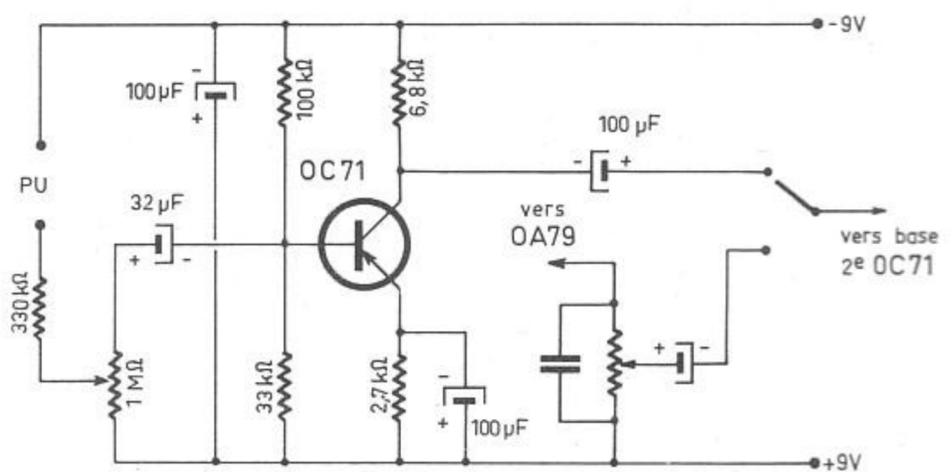
Dépôt légal éditeur 34 - 2<sup>e</sup> trim. '65  
Périodique N. 42 905 à la Commission Paritaire de la Presse.

Tous droits de reproduction, même partielle, réservés pour tous pays.

# Sommaire

★ Courrier technique . . . . .	page 2
★ Equipement et composants . . . . .	» 3
★ Informations . . . . .	» 3
★ Le Salon des Composants Electroniques . . . . .	» 4
★ Acoustique . . . . .	» 5
★ Mesures sur les amplificateurs Basse Fréquence . . . . .	» 14
★ Questions sur les 112 <sup>ème</sup> et 113 <sup>ème</sup> leçons . . . . .	» 23
★ Réponses aux questions du numéro précédent . . . . .	» 23
★ L'adaptation des haut-parleurs aux amplificateurs . . . . .	» 24
★ Dictionnaire Anglais-Français d'Electronique . . . . .	» 29
★ Mesurer et enregistrer . . . . .	» 31

# Courrier technique



M. Henri H. - Canteleu (Seine-Maritime).

## 1°) Semiconducteur du type N.

On appelle « semiconducteur type N » (germanium ou silicium), un cristal semiconducteur dans lequel on a injecté des impuretés qui favorisent la production d'électrons libres (arsenic).

On appelle ce germanium (ou ce silicium) « type N » parce que la conduction est due à des porteurs de charge électrique négatifs: les électrons libres. Ceux-ci étant en très grand nombre sont appelés: porteurs majoritaires. Ils proviennent, pour la plus grande part, des atomes d'impuretés injectés dans le cristal (atomes d'arsenic).

Cependant, à la température ambiante, il y a toujours rupture de liaisons entre atomes de germanium (ou de si-

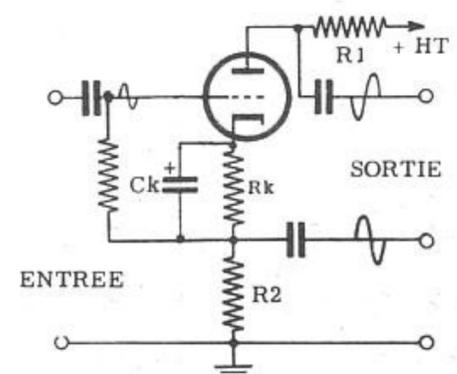
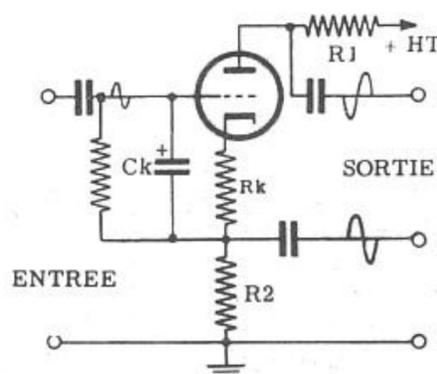
licium). Cette rupture se traduit par l'apparition d'électrons libres et de trous mobiles (par paires-paires: « électrons trous »). Les électrons libres se joignent aux autres et participent ainsi à la conduction du cristal. Une petite quantité, une minorité de trous mobiles ou charges positives, existe donc dans un cristal semiconducteur type N. Ce sont les porteurs minoritaires. Dans un bloc de germanium ou de silicium « type P », au contraire, les trous porteurs sont les porteurs majoritaires et les électrons libres, les porteurs minoritaires.

## 2°) Amplificateur de « Pick-up ».

Vous trouverez ci-dessus le schéma d'un préamplificateur de P.U. destiné à prendre place devant le premier transistor OC 71 de votre montage.

ERRATUM - N° 36 - page 846 - Fig. 10.

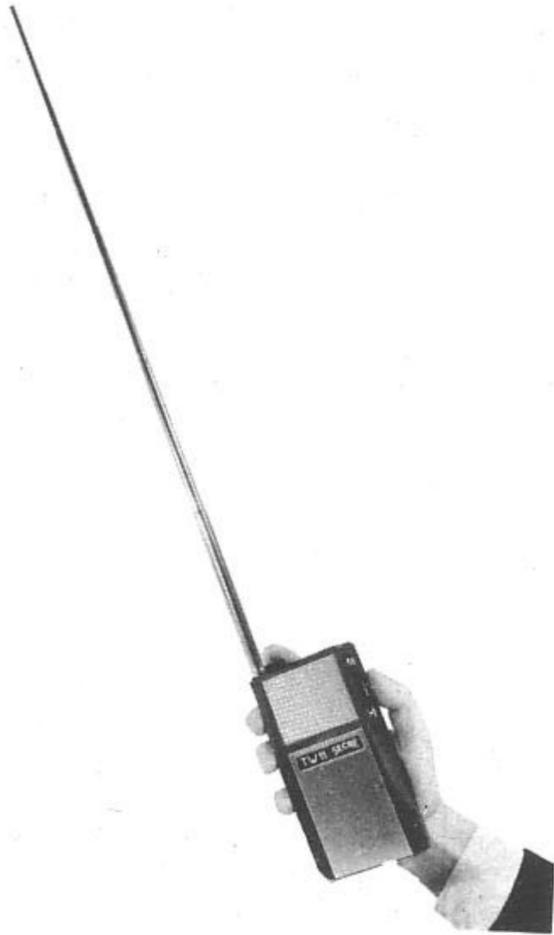
SCHEMA CORRECT



# Équipement et Composants

## EMETTEUR - RECEPTEUR TW 11 S.E.C.R.E.

Les progrès de la technologie dans le domaine de la miniaturisation alliés à des productions de grande sé-



rie aux caractéristiques très serrées, font apparaître sur le marché des équipements électroniques, hier encore réservés à un usage strictement professionnel. Il en est ainsi des é-

metteurs récepteurs portatifs de faible puissance S.E.C.R.E. TW 11.

Cet ensemble TW 11 groupe dans un boîtier de  $164 \times 80 \times 45$  mm et pour un poids de 580 g en ordre de marche, toute la partie électronique (11 transistors). Le haut-parleur, faisant également office de micro, l'antenne télescopique entièrement escamotable qui, déployée, présente une longueur de 1,40 m, et enfin les six piles d'alimentation de 1,5 V.

Ainsi conçu, le TW 11 comprend un émetteur à modulation d'amplitude, dont la fréquence de trafic se situe dans la bande 27 MHz et un récepteur du type superhétérodyne. Les fréquences de l'oscillateur pilote et de l'oscillateur de changement de fréquence sont stabilisées par des quartz. La puissance à l'émission est de 50 mW, ce qui assure une portée moyenne de trois kilomètres en terrain découvert. La sensibilité du récepteur est de  $1 \mu\text{V}$  pour un rapport signal/bruit supérieur à 15 dB. La puissance de sortie BF maximum de 200 mW. Le récepteur est doté d'un régulateur automatique de sensibilité particulièrement efficace qui, en jouant sur la sélectivité, permet de maintenir les performances nominales

jusqu'aux limites de portée. L'autonomie de fonctionnement obtenue à partir des piles incorporées est de 30 à 50 heures. Possibilité intéressante. L'émetteur comporte un dispositif qui permet d'attirer l'attention du correspondant en déclenchant une fréquence d'appel sonore à un taux de modulation maximum.

Sont prévues une prise pour écouteur extérieur (compris dans les accessoires au même titre que la housse), une prise pour entrée antenne extérieure, et une prise pour raccordement à une alimentation secteur 110 - 220 V, qui peut être fournie sur demande.

L'ensemble des deux TW 11 et de leurs accessoires est présenté dans un coffret en polystyrène expansé.

Il est inutile de rappeler les domaines d'application d'un semblable équipement, de réalisation française: industrie (conduite des équipes sur les chantiers de construction, centralisation des renseignements et diffusion des ordres dans les entrepôts, usines, bureaux), services de surveillance, Secours Routier, Secours en montagne), organisations sportives en bref, partout où se font sentir des besoins de liaison et de coordination.

## Informations

Savez-vous pourquoi le Salon Biennal de la Radio Allemande, qui était à Berlin en 1963, est venu à Stuttgart en 1965? D'abord parce que la décentralisation et la mise à l'honneur des régions différentes de l'Allemagne d'après guerre sont de règle. Mais pourquoi Stuttgart? Parce que cette ville se trouve dans la région allemande qui présente la plus faible densité de téléspectateurs, et la présence du Salon éveille le public. Les Français, eux n'accordent d'attention qu'à ce qui se passe à Paris, et un Salon National ou International en province serait considéré comme régional.

—ooo—

Le chiffre d'affaires pour la production française des **composants passifs** (inductances, résistances, condensateurs, éléments de circuits) desti-

nés aux circuits électroniques devait atteindre 1 130 millions en 1965, d'après le IV<sup>e</sup> Plan (soit 113 milliards d'anciens francs).

Et le chiffre d'affaires en composants actifs (tubes et semiconducteurs) devrait atteindre 940 millions soit 94 milliards d'anciens francs.

La part des semiconducteurs (diodes, transistors, thyristors, etc...) par rapport aux tubes électroniques devrait atteindre, en France, plus de la moitié du chiffre d'affaires, alors qu'elle était nulle en 1955.

—ooo—

Savez-vous pourquoi au Salon Biennal de la Radio, un stand officiel donnait au public des démonstrations de parasitage en radio, grâce à un simulateur de perturbations, les appareils électriques perturbateurs étant signalés par les troubles représentés. Des camionnettes détectrices de parasites étaient exposées. En France, c'est l'O.R.T.F. qui pos-

ède cet appareillage de détection; il est très précis et si efficace que les perturbateurs se méfient!

—ooo—

Alcatel, Société Alsacienne de Constructions Atomiques, de Télécommunications et d'Électronique vient de se voir confier, par l'O.N.E.R.A. (Office National d'Études et de Recherches Aéronautiques) l'étude et la réalisation d'un **dispositif d'étude de non-pesanteur** essentiellement constitué par un tube vertical de 50 mètres de haut, maintenu sous vide.

Cette dimension constitue un record mondial pour les appareils de ce type actuellement connus et donnera aux spécialistes français des engins spatiaux de grandes possibilités expérimentales.

Alcatel voit ainsi confirmer sa vocation dans les domaines des recherches spatiales et des techniques du vide.

## Le Salon des Composants Electroniques

Le Salon des Composants Electroniques de Paris est la plus ancienne et aussi la plus importante des manifestations spécialisées dans ce domaine.

Créé en 1934, le Salon est devenu international en 1958.

Du point de vue historique, le Premier Salon fut organisé en janvier 1934 par une quarantaine de fabricants de pièces détachées, dans les locaux du Musée Pédagogique. Il vient donc de fêter son trentième anniversaire.

**Spécialisation:** Cette manifestation est strictement réservée aux présentations des matériels relevant de sa nomenclature, par des firmes qui les fabriquent. La liste complète des matériels exposés comprend notamment 30 grandes rubriques:

- Condensateurs fixes simples ou multiples.
- Condensateurs ajustables et variables, simples ou multiples.
- Résistances fixes simples ou multiples.
- Résistances ajustables variables et non linéaires, simples ou multiples.
- Bobines d'inductance.
- Transformateurs à fréquences radioélectriques.
- Transformateurs à fréquences industrielles et acoustiques.
- Matériel de connexion à caractère définitif.
- Matériel de connexion à caractère temporaire.
- Interrupteurs, commutateurs et protection.
- Collecteurs et radiateurs d'ondes.
- Haut-parleurs.
- Transducteurs électroacoustiques.
- Mémoires.
- Matériel piézoélectrique.
- Accessoires sans fonction électrique.
- Composants complexes autres que les microstructures.
- Transducteurs électrochimiques.
- Petites machines tournantes pour l'électronique.
- Tubes électroniques grand public.
- Tubes professionnels autres que pour les télécommunications.
- Dispositifs à semiconducteurs professionnels.
- Dispositifs à semiconducteurs de puissance mono et polycristallins.
- Relais destinés à l'électronique.
- Appareils de mesure destinés à vérifier les caractéristiques et le comportement des composants électroniques en fonction des grandeurs d'influence.
- Appareils de mesure constituant des éléments d'équipements électroniques.
- Matériaux d'usage électronique.
- Dispositifs à microstructures.

La nomenclature très restrictive des produits exposés comprend seulement les éléments utilisés pour la réalisation des ensembles électroniques.

Toutefois, des appareils de mesure, relevant des techniques de l'Electronique sont admis dans le cadre de l'Exposition.

**Organisation:** Le Salon comprend, d'une part, une section générale A pour l'ensemble des pièces détachées passives et, d'autre part, des sections spécialisées:

- une section tubes - B
- une section semiconducteurs - C
- une section mesure - M
- une section relais - R
- une section de matériaux à usage électronique - Z

La section Electrostatique a été, en 1965, disjointe pour former le Premier Salon International de l'Electroacoustique, ouvert dans le hall voisin aux mêmes dates, autonome mais jumelé avec le Salon des Composants.

Le Salon est placé sous le patronage de la Fédération Nationale des Industries Electroniques, 16, rue de Presles, Paris 15<sup>e</sup>, tél. 273.24.70; et du Syndicat des Industries de Pièces Détachées et Accessoires Radioélectriques et Electroniques (S.I.P.A.R.E.) avec le concours des Organismes Professionnels spécialisés.

L'organisation en est confiée à la S.K.S.A. 16, rue de Presles, Paris 15<sup>e</sup>.

Le Salon de 1965 comprenait 33 000 m<sup>2</sup> couverts, découpés en îlots par 3 km d'allées donnant 6 000 m de façade d'exposition auxquels il convient d'ajouter les 3 000 m<sup>2</sup> occupés par les exposants du Salon International de l'Electroacoustique. L'ensemble formait un vaste quadrilatère de 160 x 180 m dominé par la haute façade du Hall Monumental.

### 1°) Importance du Salon

859 exposants avaient été admis contre 772 en 1964, représentant, par rapport à l'année précédente, une augmentation substantielle limitée par la Commission d'Admission qui n'a pas été en mesure de satisfaire toutes les demandes en raison de la nécessité de ne pas étendre davantage la surface de l'Exposition.

La répartition s'établissait comme suit:

— Exposants de matériels	769	dont 389 Etrangers
— Administrations, Associations et Organismes autonomes	25	
— Maisons d'Edition: Presse Périodique et Technique	65	dont 39 Etrangers
	Soit au total	859 dont 428 Etrangers

### 2°) Caractère international

a) Le caractère international du Salon est affirmé par la présence en 1965 de 428 Exposants étrangers appartenant à 20 pays différents.

Les plus importantes participations étrangères étaient celles des pays suivants: les Etats Unis avec 132 firmes; l'Allemagne Fédérale avec 101 firmes; la Grande Bretagne avec 69 firmes. Viennent ensuite, l'Italie avec 27 firmes, le Japon (33 exposants), la Suisse avec 12 firmes. Sont également présents: l'Autriche, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, la Hongrie, l'Irlande, Monaco, la Norvège, les Pays Bas, la Pologne, la Suède, la Yougoslavie, l'Allemagne démocratique, etc...

b) Le nombre des visiteurs étrangers du Salon, en constante progression, constitue désormais un très important pourcentage du nombre total des visiteurs (14% en 1965). 68 pays ont envoyé des visiteurs au Salon. Nombre d'exposants admettent que les étrangers représentent près du tiers des visiteurs les plus intéressants du Salon.

### 3°) Visiteurs du Salon

**Le Salon a enregistré 125 000 entrées.** Les résultats d'une enquête antérieure ont été confirmés selon lesquels 25 à 30% des visiteurs font 2 visites au Salon et 15 à 20%, 3 visites ou davantage. Le contrôle mécanographique des entrées a permis de préciser très exactement la physionomie des visiteurs du Salon. Il est rappelé que seuls les Professionnels de l'Electronique ont accès à cette manifestation qui n'est pas ouverte au Public, mais réservée aux porteurs de cartes d'invitation.

L'admission au Salon 1966 sera possible sur présentation de l'invitation qui sera publiée par « Votre Carrière », comme en 1965.

## ACOUSTIQUE

Résumant les observations que nous avons faites au commencement de ce cours, nous rappelons que les ondes sonores ne sont pas autre chose qu'une succession de compressions et de dépressions des molécules de l'air à travers lequel se propage le son. En d'autres termes, en ayant recours à la représentation graphique de la **figure 1**, on peut affirmer qu'en considérant les alternances positives comme des phases de compression et les alternances négatives comme des phases de dépression, le son se propage extérieurement à la source qui l'a produit, grâce aux rapprochements et éloignements successifs des molécules formant le milieu de propagation.

Avant d'approfondir l'étude de l'amplification basse fréquence, c'est-à-dire avant d'aborder la « Haute Fidélité », il convient de consacrer quelques pages à la physique des sons, à leur propagation et à la plupart des phénomènes se rapportant à eux. Nous remarquerons l'utilité de cette étude lorsque nous examinerons les principes de la Haute Fidélité. L'étude de ces principes constituera un complément logique à celle consacrée à l'électroacoustique.

### CARACTERISTIQUES d'un SON

Dans notre étude concernant les formes d'onde non sinusoïdales, (page 730) nous avons vu succinctement comment un son peut être différent d'un autre tout en ayant la même fréquence fondamentale. Voyons maintenant, avec plus de détails quelles sont les caractéristiques qui permettent l'analyse qualitative et quantitative des sons.

#### Hauteur (ou Fréquence) et timbre

La **hauteur** (ou **fréquence**) est exprimée par le nombre de vibrations complètes par seconde. Plus la hauteur d'un son sera élevée plus il sera aigu; plus sa hauteur sera faible, plus il sera grave.

Prenons par exemple le « DO » qui commence la sixième octave du clavier d'un piano. Sa fréquence fondamentale est de 1 024 Hz. La même note, c'est-à-dire une note ayant la même fréquence fondamentale, peut être produite par les organes vocaux d'un soprano, par une viole, par un violon, par une clarinette, par un hautbois, par une flûte ou encore par un pipeau. Une personne qui possède une certaine pratique des instruments de musique, en écoutant une telle note sans regarder la

source qui lui donne naissance est certainement capable de reconnaître l'instrument, uniquement grâce au **timbre**, qui caractérise la note, et qui diffère selon l'instrument. Le timbre est dû, à la présence d'harmoniques se superposant à la fréquence fondamentale.

D'une manière analogue, deux personnes qui appartiennent au même sexe et ayant une voix normale, peuvent produire le même son au moyen de leurs cordes vocales. Dans ce cas aussi, une troisième personne qui a pu les entendre parler ou chanter précédemment et séparément, est capable de distinguer et de reconnaître leur voix, et cela toujours à cause des divers harmoniques qui caractérisent le timbre de leur voix.

Cette caractéristique très importante des sons est à la base de la musique, parce que c'est justement la diversité de timbre des différents instruments qui a permis la création d'orchestres plus ou moins grands, au moyen desquels on produit une combinaison de sons différents mais ayant une même fréquence fondamentale, selon les lois de l'harmonie, et susceptibles de donner des sensations auditives agréables à l'oreille.

Si nous considérons la représentation graphique d'un son pur comme celui de la **figure 2-A**, et celle d'un son complexe représenté par la **figure 2-B**, on voit clairement que, malgré la même fréquence fondamentale, la sensation éprouvée par la personne qui les écoute ne peut pas être la même.

Tout cela permet au lecteur de se rendre compte de la difficulté de reproduction parfaite d'un son complexe au moyen d'un dispositif reproducteur, comme par exemple un haut-parleur.

La partie mobile, à savoir le cône et la bobine fixée à ce dernier, doit avoir des caractéristiques lui permettant de vibrer simultanément sur toutes les fréquences, en apportant seulement un minimum de distorsion. En effet, quoiqu'actuellement on réussisse à obtenir ce qu'on appelle les reproductions à Haute Fidélité, l'auditeur sera toujours capable d'établir si l'exécution musicale qu'il écoute provient d'un orchestre ou bien d'un haut-parleur.

#### Intensité ou Amplitude

Une seconde caractéristique d'un son, également importante, est l'**amplitude** ou **intensité**. L'intensité caractérise la puissance du son. Nous savons tous qu'un son peut être plus ou moins fort, selon que la source qui le produit est excitée plus ou moins énergiquement.

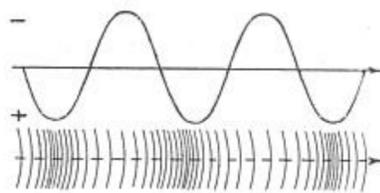


Fig. 1 - Une onde sonore provoque des compressions et dépressions successives des molécules d'air.

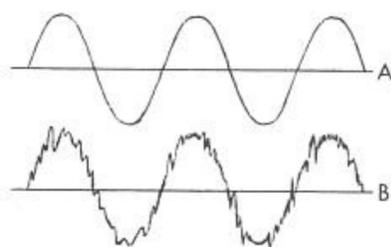


Fig. 2 - En A, onde parfaitement sinusoïdale représentant un son pur, en B onde ayant la même fréquence fondamentale mais contenant une quantité considérable de fréquences harmoniques et représentant un son complexe.

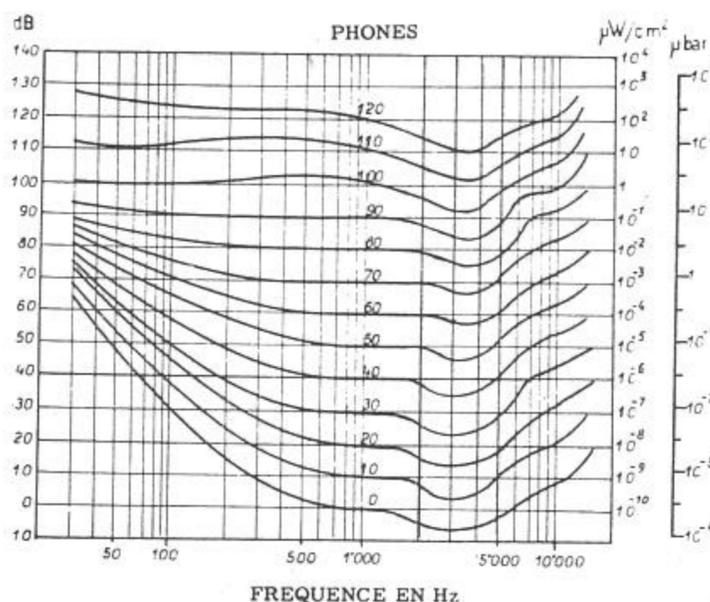


Fig. 3 - Courbes de Fletcher — Munson montrant la sensibilité d'une oreille normale aux différentes fréquences. Chaque courbe représente la sensation sonore exprimée en « phones » à un niveau donné, qui, pour la fréquence de 1 000 Hz correspond au niveau en dB. Pour les autres fréquences il est facile de noter la discordance avec les valeurs en dB.

On mesure l'intensité d'un son par la surpression qu'il crée dans l'air. Cette intensité est à peu près proportionnelle au carré de la surpression. L'amplitude peut s'exprimer tant en **decibels** qu'en **phones**, en **watt par cm<sup>2</sup>**, en **erg par seconde** ou encore en **baryes**.

Dans notre leçon consacrée au décibel nous avons appris que si l'on augmente l'intensité d'un son dans un rapport égal à 10, 100, 1 000, 10 000; etc. (c'est-à-dire suivant les puissances entières du nombre 10, à savoir: 10<sup>1</sup>, 10<sup>2</sup>, 10<sup>3</sup>, 10<sup>4</sup>, etc.), la sensation sonore que procure notre oreille suit la progression naturelle des nombres 1, 2, 3, 4, etc. Autrement dit, pour obtenir une sensation d'intensité double, l'amplitude du son elle-même doit augmenter de 100 fois; pour avoir une sensation d'intensité triple, l'amplitude du son doit augmenter de 1 000 fois et ainsi de suite.

Nous avons ainsi énoncé la loi de Fechner: « l'intensité de la **sensation acoustique** est **proportionnelle au logarithme de l'excitation** ».

Signalons au passage que cette loi est valable pour **tous** les organes des sens humains.

Pour évaluer l'intensité d'un son, on considère une valeur correspondant à l'intensité minimum que le dit son doit avoir, afin qu'il puisse être entendu par une oreille humaine normale. Cette intensité appelée **seuil d'audibilité**, est prise comme niveau « zéro ».

Considérons, par exemple, le **bel** que nous connaissons déjà: la variation du niveau d'un son exprimée en bel est donnée par le logarithme du rapport entre le niveau instantané  $N_i$  et le niveau correspondant au seuil d'audibilité  $N_s$ , c'est-à-dire:

$$N_B = \log_{10} (N_i : N_s)$$

à une fréquence de référence de 1 000 Hz.

L'unité choisie, le bel étant trop grand pour les besoins de la pratique, on préfère utiliser un sous-multiple: le **decibel**, égal à un dixième de bel. Par conséquent, la formule précédente devient:

$$N_{dB} = 10 \log_{10} (N_i : N_s)$$

Cette formule permet d'exprimer en dB une variation d'intensité sonore: par exemple, si l'intensité d'un son est égale à trois fois celle correspondant au seuil d'audibilité, le rapport entre le niveau instantané et le niveau de seuil,  $N_i$  sur  $N_s$  est égal à 3. Il s'ensuit que:

$$N_{dB} = 10 \log_{10} 3 = 10 \times 0,47712 = 4,7 \text{ (environ)}$$

Dans ce cas, le nombre de dB étant positif indique une augmentation d'intensité. Evidemment, si on doit exprimer une atténuation au lieu d'une augmentation, la valeur en dB sera négative.

Parfois, l'intensité du son est exprimée en unité de pression: dans un tel cas, puisque l'intensité varie proportionnellement au carré de la pression ( $P$ ), en appelant  $P_1$  la pression correspondant au seuil d'audibilité et  $P_2$  la pression à un moment donné, l'expression devient:

$$N_{dB} = 10 \log_{10} [(P_2)^2 : (P_1)^2] = 20 \log_{10} (P_2 : P_1)$$

L'expérience a montré que la plus petite différence de niveau sonore qui puisse être perçue par l'oreille humaine atteint environ 1 dB; ce qui signifie que si l'amplitude d'un son passe de 50 dB à 49 ou 51 dB, l'auditeur perçoit simplement une légère diminution ou une légère augmentation d'intensité; par contre, si la variation est — par exemple — de 0,5 dB (49,5 ou 50,5 dB, l'auditeur ne remarque aucune différence d'intensité du son écouté. C'est pour cette raison qu'en électroacoustique, on n'emploie pas, en général, des unités inférieures au décibel.

La pression acoustique est normalement exprimée en baryes: naturellement, cette unité peut aussi être exprimée en fonction d'autres unités, au moyen de simples relations.

En effet, on peut facilement constater, par l'examen du tableau 88, qu'une barye équivaut à une puissance acoustique de 0,0242 « erg » par seconde ou à une puissance acoustique de 0,00242  $\mu W$  par  $cm^2$ .

La gamme des intensités des sons perceptibles par l'oreille humaine s'étend de 0 dB (seuil d'audibilité correspondant à environ 0,001 barye) à un maximum de

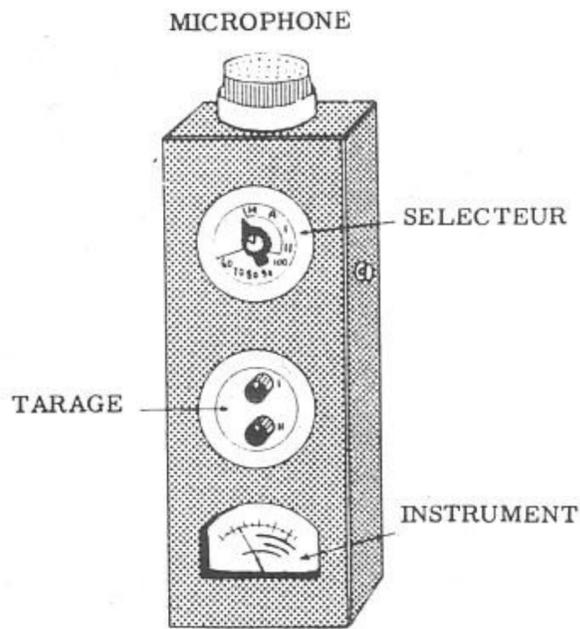


Fig. 4 - Exemple de phonomètre portatif, alimenté par une batterie incorporée; le microphone est du type électrostatique.

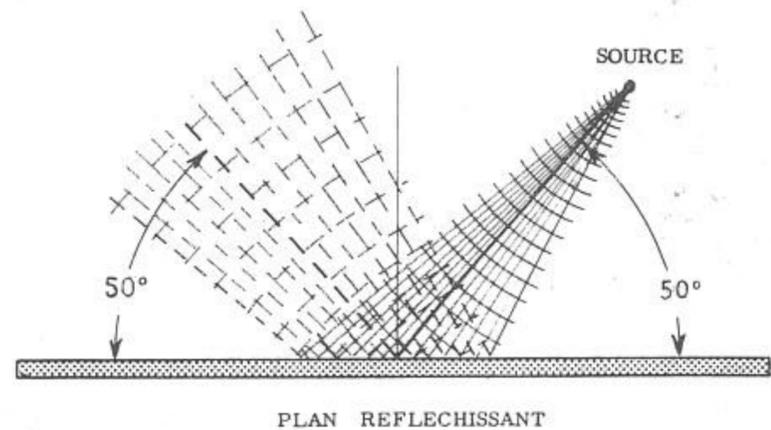


Fig. 5 - Réflexions des ondes sonores incidentes par une surface non absorbante. Comme on le voit, l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence. Bien entendu, si la surface possède un certain coefficient d'absorption, toutes les ondes ne sont pas réfléchies; une partie est absorbée par la surface.

140 dB. Naturellement, ce dernier niveau dépasse ce qu'on appelle le seuil de sensation douloureuse.

La sensibilité de l'oreille humaine, tant en ce qui concerne le niveau d'écoute normale, que le seuil de sensation douloureuse, varie avec la fréquence de quelque manière qu'on l'exprime, c'est-à-dire en décibel, barye,  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  ou erg/sec. C'est pour cette raison et pour une autre que nous verrons sous peu, que l'établissement des unités de mesure physiologiques d'une rigoureuse exactitude n'étant pas possible, on a choisi une fréquence de référence correspondant à 1 000 Hz. C'est à partir du niveau à cette fréquence que l'on compare les niveaux aux autres fréquences.

Si nous considérons le fait que suivant la fréquence, deux sons ayant la même intensité peuvent donner deux sensations sonores différentes, il est aisé de comprendre la nécessité d'avoir une grandeur définie en relation avec la sensibilité de l'oreille humaine.

On a ainsi créé le « phone » qui, dans la pratique, s'identifie avec le décibel. La seule différence entre les deux grandeurs réside dans le fait que le décibel exprimant une variation d'intensité, le « phone » exprime une variation de sensation sonore.

Comme le montre la **figure 3**, les niveaux en décibels et en « phones » coïncident entre eux pour la fréquence de référence de 1 000 Hz. Pour les autres fréquences, au contraire, tandis que les valeurs en décibel restent constantes, les valeurs en « phones » suivent la caractéristique de l'oreille humaine normale.

Les courbes de la **figure 3**, établies en 1933 par Fletcher et Munson, ont été revues par Robinson et Dadson, en 1956. Ces nouvelles courbes ne diffèrent des précédentes que par la disparition du seuil d'audibilité à 1 000 Hz, que la précision des appareils de mesure de 1933 ne permettait pas de situer exactement.

Les unités et les références nécessaires pour exprimer l'intensité d'un son étant établies, il a été possible de créer des instruments capables d'effectuer la mesure. L'instrument dont on se sert pour évaluer avec une certaine exactitude le niveau d'un son est précisément appelé « phonomètre ».

En règle générale, un phonomètre consiste simplement en un microphone étalonné, relié à l'entrée d'un amplificateur qui possède lui-aussi des caractéristiques déterminées. A la sortie du dit amplificateur on connecte un redresseur (généralement en pont), ayant comme charge la bobine mobile d'un instrument de mesure dont l'échelle est étalonnée directement en décibels ou en « phones ». La **figure 4** en représente un modèle de type portatif.

Le microphone (généralement du type électrostatique), doit avoir une courbe de réponse en fréquence linéaire sur une gamme vaste étendue et précisément sur toute la gamme des fréquences que l'on désire mesurer. L'amplificateur est muni d'un atténuateur, lui aussi étalonné en décibels, qui permet d'établir à l'avance la portée de l'instrument.

Pour effectuer la mesure, on met en marche le phonomètre à une distance déterminée de la source sonore, et, après avoir réglé l'atténuateur de manière à obtenir une déviation franche de l'aiguille de l'instrument de mesure, on effectue la lecture en apportant à la valeur lue la correction indiquée par la position de l'atténuateur.

Les instruments les plus simples, adaptés à la mesure de l'intensité des sons, permettent de mesurer le niveau sonore total de tous les sons perceptibles au point où l'on effectue la mesure, sans aucune distinction de fréquence. Les plus compliqués sont au contraire, munis de filtres spéciaux propres à éliminer (à la sortie du microphone ou dans un étage intermédiaire de l'amplificateur) les fréquences dont on ne veut pas mesurer le niveau. De cette façon, il est possible d'effectuer des mesures très précises, même de sons complexes.

Les applications typiques du phonomètre sont: la mesure du niveau sonore dans les bureaux, le contrôle du bruit des moteurs à explosion, le contrôle de l'acoustique des salles publiques, etc.

### Propagation

Si l'on suppose que le son est émis par une source ponctuelle, on peut affirmer qu'il se propage en ondes

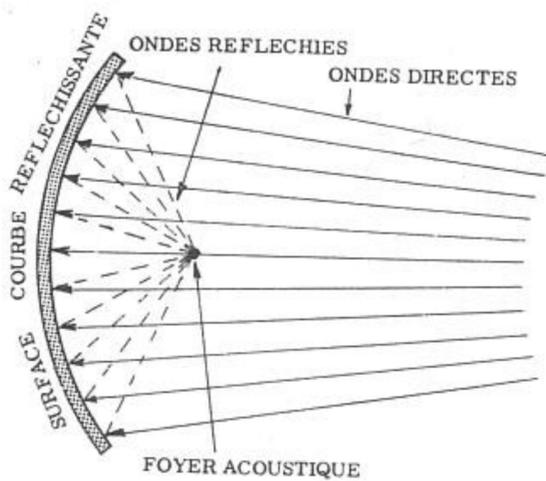


Fig. 6 A - Réflexion des ondes sonores par une surface réfléchissante concave. Le point de convergence des ondes réfléchies se trouve, dans ce cas, sur l'axe.

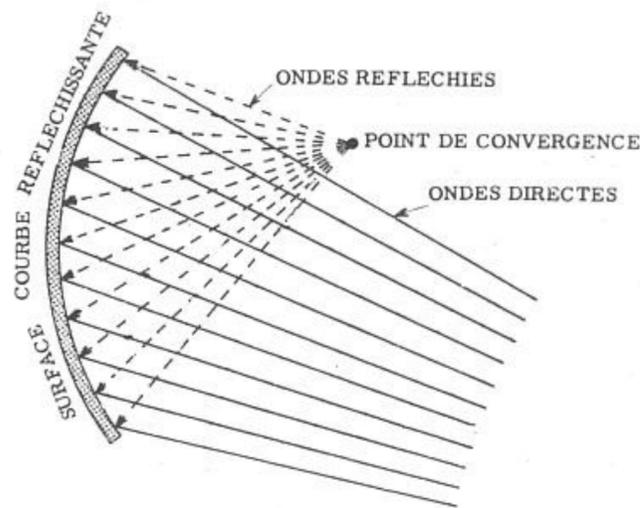


Fig. 6 B - Un cas similaire au précédent; le point de convergence des ondes réfléchies ne se trouve pas sur l'axe de la surface réfléchissante. On a de toute façon un « foyer ».

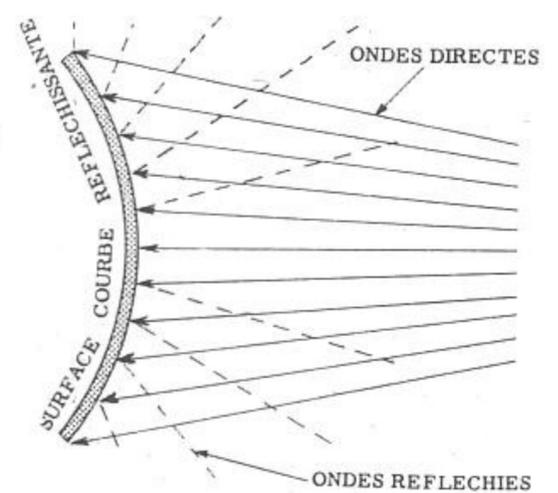


Fig. 6 C - Réflexion d'ondes sonores par une surface convexe.

sphériques, c'est-à-dire dans toutes les directions qui unissent le point de départ avec les points infinis qui constituent la surface d'une sphère imaginaire créée dans l'espace autour du point lui-même.

Si le milieu de propagation est par exemple l'air, le son peut être entendu à distance puisque, nous le savons, chaque onde sonore comporte une série de compressions et de dépressions successives des couches de molécules de l'air environnant. Chaque couche qui subit une pression ou une dépression, provoque le même phénomène dans la couche voisine; c'est cela qui, justement constitue le phénomène de propagation du son.

Evidemment, cette force physique qui s'exerce sur la matière entourant la source sonore, même si une telle matière est d'une faible consistance comme l'est justement l'air, produit une dissipation d'énergie qui, avec le temps, affaiblit l'intensité du son, d'autant plus fortement que la distance de propagation est plus grande.

On peut donc affirmer que le son produit par une source ponctuelle se propage dans l'espace en diminuant progressivement d'intensité, jusqu'à l'extinction complète. On a constaté, dans la pratique, que l'affaiblissement est directement proportionnel au carré de la distance.

La vitesse de propagation du son varie avec les caractéristiques physiques du milieu, c'est-à-dire de sa consistance et de la température relative. En particulier, on a pu constater que la dite vitesse de propagation est maximum dans quelques métaux, moyenne dans d'autres métaux, dans le bois et dans les liquides, et minimum dans les gaz. Le tableau 89 permet de déterminer la vitesse approximative avec laquelle le son se propage dans différentes substances, en considérant que les vitesses énoncées, exprimées en mètres par seconde, se rapportent à une température de 20° C.

En réalité, lorsque la source sonore n'est pas assimilable à un point et possède plutôt, par exemple, les dimensions d'une membrane vibrante, d'une corde ou d'une surface quelconque en mouvement, on peut affirmer aussi que le son émis se propage en ondes sphé-

riques si le milieu de propagation possède des caractéristiques constantes en tous ses points (milieu homogène). S'il n'en était pas ainsi, en faisant fonctionner un haut-parleur, il ne serait possible d'entendre les sons produits par celui-ci que si la personne se trouvait devant la membrane ou, au moins, dans un rayon limité. Nous savons au contraire que les dits sons sont perceptibles en un point quelconque autour d'une source similaire, quoiqu'avec une intensité différente.

Un autre phénomène relatif à la propagation est le suivant: si on écoute la reproduction d'un morceau de musique en se trouvant exactement devant le haut-parleur et si on l'écoute ensuite en se plaçant derrière l'appareil reproducteur par exemple, on note une différence considérable du timbre des sons entendus.

L'expérience a montré qu'une telle diversité de sensations est due au fait suivant: tandis que les fréquences basses sont entendues de la même façon quelles que soient les positions relatives de la source et de l'auditeur, les fréquences élevées, par contre, sont mieux entendues si on les écoute directement devant la source. De cela, on peut déduire que la propagation du son varie aussi avec la fréquence; en d'autres termes, les ondes sonores sont d'autant plus directionnelles que leur fréquence est plus élevée.

### Réflexion des sons

Considérons le point de départ d'un faisceau d'ondes sonores et leur propagation dans un secteur déterminé de la sphère où elles se distribuent dans toutes les directions comme l'indique la figure 5.

Si, dans l'espace libre existant autour de la source sonore, on dispose d'une surface plane de matière solide, on obtient un phénomène de réflexion. En d'autres termes, les ondes sonores qui heurtent la dite surface sont en partie absorbées par la surface elle-même et en partie réfléchies.

Comme on le voit en observant la figure, l'angle de réflexion est rigoureusement égal à l'angle d'incidence. Nous précisons que par angle d'incidence, on entend

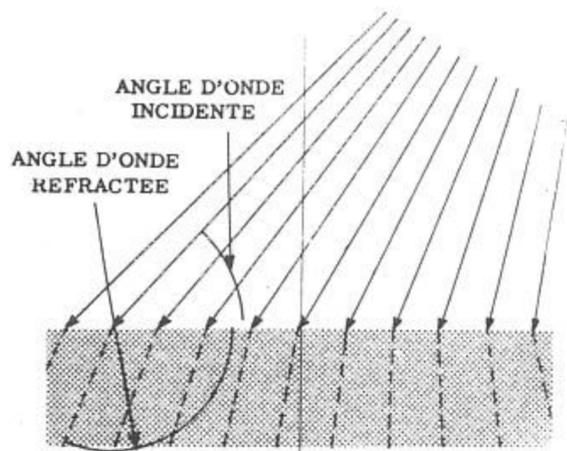


Fig. 7 - Réfraction d'ondes sonores passant d'un milieu ayant des caractéristiques déterminées à un autre (zone foncée), ayant des caractéristiques différentes. L'angle de réfraction dépend de la variation de vitesse du son.

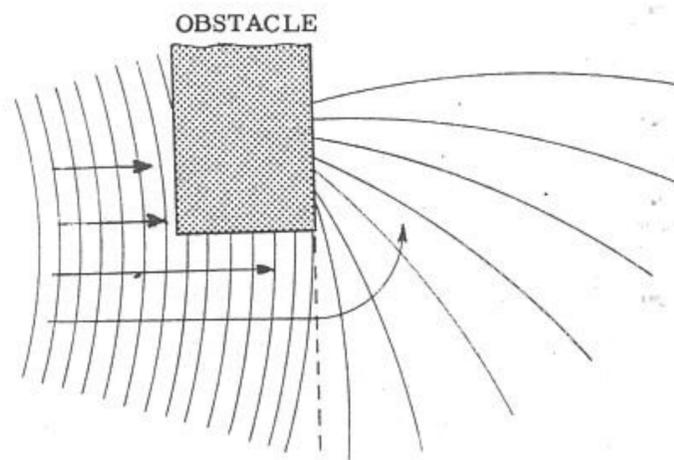


Fig. 8 - Si les ondes sonores rencontrent — dans leur parcours — un obstacle quelconque, elles tendent à le contourner en changeant la direction de propagation en ce point.

l'angle formé par la droite passant par le centre de la source sonore et la perpendiculaire (ou normale) au plan de la surface réfléchissante.

Evidemment si la surface heurtée par les ondes sonores est constituée par un matériau dur, épais et parfaitement poli, on peut affirmer que l'intensité du son réfléchi est presque égale à celle du son incident.

Inversement, si la surface est constituée par un matériau mou, élastique ou poreux, l'intensité du son réfléchi est notablement inférieure à celle du son incident par suite de l'absorption par la surface, d'une partie de l'énergie sonore. C'est pourquoi, pour corriger des défauts éventuels de l'acoustique des salles de spectacle (cinémas, théâtres, salles de concert, salles d'enregistrement, etc.), on utilise souvent des panneaux spéciaux construits avec des matériaux réfléchissants, ou absorbants (selon les besoins), qui empêchent ou favorisent la propagation des sons.

L'effet des surfaces courbes sur les ondes sonores peut être, à bon escient, comparé à celui des miroirs concaves ou convexes sur les rayons lumineux.

Comme on le voit sur les figures 6-A, 6-B et 6-C, il est possible de faire converger les ondes sonores d'une source en un point déterminé, appelé **foyer acoustique**, ou bien de faire en sorte qu'elles puissent se propager en s'écartant, c'est-à-dire en se distribuant sur une surface d'autant plus vaste que la distance est plus grande, après avoir heurté la surface réfléchissante.

Le phénomène de la réflexion des ondes sonores peut aussi être mis en évidence par un phénomène que nous connaissons tous: le phénomène d'écho.

Nous savons que, si l'on émet un son fort dans un espace suffisamment vaste au bout duquel se trouve un obstacle ou surface réfléchissante, on obtient un **écho**, grâce auquel le son original est entendu plus d'une fois.

Les expériences effectuées dans ce domaine ont montré que l'oreille humaine peut entendre deux sons identiques se distinguant entre eux: il suffit qu'il existe

entre eux un intervalle de temps d'au moins 1/15 de seconde.

Le tableau relatif à la vitesse de propagation du son dans les différents milieux, montre que la vitesse de propagation dans l'air, à la température d'environ 20°C, est à peu près de 330 mètres par seconde; ce qui signifie que pour que le son réfléchi, puisse atteindre l'oreille de la personne qui écoute en 1/15 de seconde et puisse être distingué du son original, la surface réfléchissante doit être située à une distance de  $330 \times 1/15 = 22$  mètres. Evidemment, si la distance est plus grande, l'écho peut se manifester également, avec la seule différence que la seconde sensation aura lieu après un intervalle de temps plus grand.

Inversement, si la distance entre la source sonore et la surface réfléchissante est inférieure à 22 mètres, le phénomène d'écho se produit également, mais sans que la personne en question puisse l'entendre, parce que l'intervalle de temps existant entre le son direct et le son réfléchi est inférieur à 1/15 de seconde.

Il existe des cas, du reste très courants, surtout dans les vallées ou dans les milieux fermés ayant des caractéristiques architecturales déterminées, où l'écho se produit plus d'une fois; cela se produit parce que les ondes sonores émises par la source heurtent successivement différents plans réfléchissants, placés à des distances différentes, ou le même plan plusieurs fois. Naturellement, afin qu'il soit possible d'entendre un écho double ou triple, il est toujours nécessaire que l'intervalle entre une sensation et l'autre ne soit pas inférieur à la limite établie.

Dans les milieux fermés, surtout dans ceux qui ont des dimensions notables, on rencontre souvent des phénomènes de ce genre.

Parfois en outre, la distance entre la source et les surfaces réfléchissantes est tellement voisine de la distance critique, qu'au lieu d'un écho proprement dit, on a la sensation d'une prolongation des sons après que la source ait cessé de les émettre (comme dans le cas typique de l'orgue écouté dans l'église). Dans ce cas, le phénomène prend le nom de réverbération, qu'on

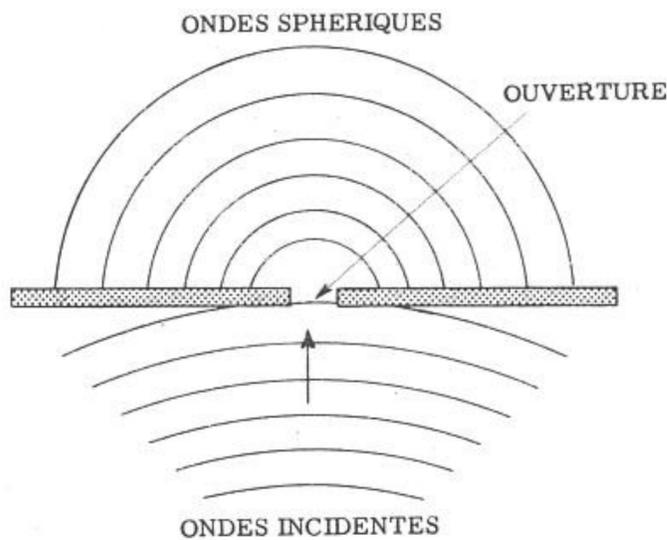


Fig. 9 - Lorsque les ondes sonores rencontrent une surface percée d'un trou de diamètre réduit par rapport à la longueur d'onde, elles se propagent au-delà du trou avec une allure sphérique.

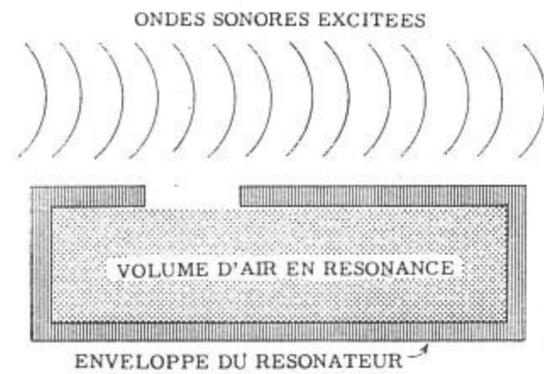


Fig. 10 - Exemple de résonateur de Helmholtz. Si les ondes sonores qui passent en proximité de l'ouverture ont une fréquence égale à celle de résonance de la masse d'air contenue dans l'enveloppe, celui-ci résonne avec, pour conséquence, un effet d'amplification.

utilise dans certains cas pour créer des effets acoustiques spéciaux. La durée du son perçu après cessation de l'onde directe, est appelée « temps de réverbération » et il s'arrête lorsque l'intensité du son entendu subit une atténuation de 60 dB.

### Réfraction des sons

Comme les rayons lumineux qui passent à travers deux substances différentes, ou les ondes hertziennes, les sons en traversant deux milieux ayant des caractéristiques physiques même légèrement différentes, subissent une réfraction. La figure 7 représente ce phénomène.

La source sonore est située à grande distance. En conséquence, on peut dire que les ondes sonores qui arrivent à la limite de séparation des deux milieux sont planes; en d'autres termes, on peut imaginer que les couches de molécules mises en mouvement par le son se trouvent sur des plans perpendiculaires à la direction du son lui-même.

Si pendant leur parcours, les dites ondes sonores passent d'une zone qui contient de l'air froid, à une autre contenant — par exemple — de l'air chaud, elles subissent une déviation d'autant plus grande que la différence de température est elle-même plus élevée.

Dans ce cas, en prenant comme référence la droite perpendiculaire au plan de réfraction, l'angle d'incidence n'est pas égal à l'angle de réfraction; mais, connaissant les caractéristiques des deux milieux de propagation et, par suite, les vitesses de propagation relatives en appelant  $v_1$  la vitesse du son direct et  $v_2$  la vitesse du son réfracté, on a :

$$\frac{\text{sinus de l'angle d'incidence}}{\text{sinus de l'angle de réfraction}} = \frac{v_1}{v_2}$$

d'où l'on peut tirer la valeur de l'angle de réfraction.

La réverbération du son qui, grâce à l'effet particulier qu'elle produit peut dans certains cas donner au son une caractéristique agréable, a été exploitée

pendant ces dernières années dans l'enregistrement de la musique.

Presque tous nous avons eu l'occasion d'écouter un disque où la voix du chanteur se détache du son complexe de l'orchestre, alors qu'il est suivi d'un écho sonore. Mais, dans ce cas, le phénomène est provoqué artificiellement, au moyen de dispositifs électroniques qui envoient à l'entrée de l'amplificateur d'enregistrement deux signaux séparés, dont l'un provient directement du microphone réservé au chanteur et l'autre d'un second microphone, après avoir subi un retard convenablement dosé.

### Diffraction des sons

La diffraction est elle aussi un phénomène commun à la propagation des ondes lumineuses, hertziennes et sonores. Elle se manifeste de plusieurs façons, selon la fréquence de l'onde sonore et la forme de l'objet rencontré.

Dans la pratique, elle se manifeste de la façon suivante: lorsque les ondes sonores rencontrent dans leur parcours un obstacle, qui peut être une surface plane ou un objet de forme quelconque, elles tendent à le contourner, en changeant ainsi la direction.

La figure 8 représente le cas où l'obstacle est constitué par un objet solide: comme on le voit, les ondes sonores constituées par des couches parallèles d'air en mouvement suivent une direction constante. Lorsqu'elles rencontrent l'objet en question, elles le contournent et changent ainsi, à cet endroit, la direction de leur propagation.

Une autre phénomène caractéristique est représenté par la figure 9, où l'on observe que lorsque les ondes sonores rencontrent une surface plane percée d'un trou, elles se propagent au-delà de ce dernier en couches concentriques (propagation sphérique), à condition que le diamètre du trou soit inférieur à la longueur d'onde du son lui-même. Le phénomène est intuitif si l'on considère que chaque point de la circonférence du trou se comporte comme un point quelconque du bord d'un objet que les ondes sonores contournent par diffraction.

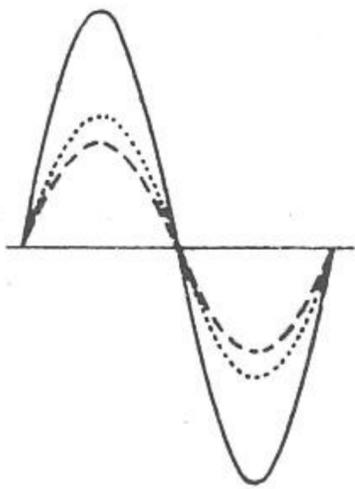


Fig. 11 A - Si deux sons simultanés et de même fréquence sont en phase, les amplitudes s'additionnent.

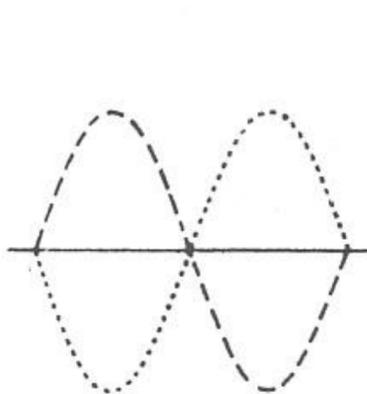


Fig. 11 B - Si, au contraire, ils sont en opposition de phase, les amplitudes se soustraient et la résultante est nulle.

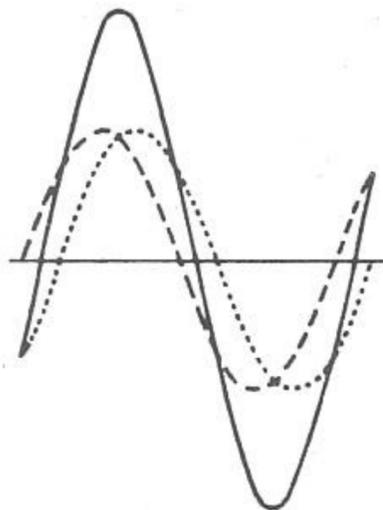


Fig. 11 C - Les cas de superposition de deux signaux égaux et légèrement déphasés. Les amplitudes s'additionnent.

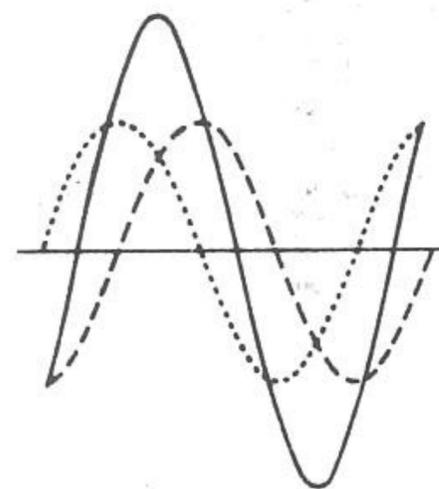


Fig. 11 D - Jusqu'à un déphasage de  $90^\circ$ , on a toujours une addition de l'amplitude des deux signaux.

### Phénomènes acoustiques relatifs à la fréquence

En acoustique on rencontre d'autres phénomènes aussi intéressants que ceux que nous avons considérés jusqu'à maintenant. Pour les ondes sonores, comme pour les ondes électromagnétiques, des phénomènes de résonance peuvent se produire entre deux corps vibrants ayant des caractéristiques identiques, ou bien dus à la forme et aux caractéristiques des murs d'un milieu fermé.

On peut en dire autant pour l'interférence entre deux fréquences voisines. Dans ce cas, on obtient des battements, tout comme dans l'étage de conversion de fréquence des récepteurs superhétérodynes.

**Résonance.** - Si nous accordons deux instruments de musique, par exemple deux guitares, de sorte que chacune des cordes de la première produise la même note que la corde correspondante de la seconde, en pinçant une corde quelconque de l'une des deux guitares, on peut aisément constater que la corde correspondante de la seconde vibre aussi, à condition que la distance entre les deux instruments ne soit pas supérieure à une certaine limite.

On peut constater le même phénomène si la seconde corde est accordée sur une fréquence harmonique de la première; naturellement, dans ce cas, l'intensité du son est moins forte.

Une autre manifestation du phénomène de résonance consiste dans l'amplification du son au moyen de ce qu'on appelle un résonateur. Un cas typique est celui du **résonateur de Helmholtz**, représenté à la figure 10. Le principe est le suivant: n'importe quel récipient, fermé de tous les côtés et muni d'une seule ouverture en un point quelconque de la surface extérieure, renferme une masse d'air ayant une fréquence de résonance bien définie. Une telle fréquence est déterminée par la forme et par le volume de l'enveloppe renfermant la masse d'air.

Si l'ouverture pratiquée dans la dite enveloppe est excitée au moyen d'ondes sonores ayant une fréquence

égale à celle de résonance de la masse d'air, toutes les molécules d'air contenues entrent en vibration en créant à leur tour des ondes sonores qui, en s'unissant à celles provenant de l'extérieur, provoquent un phénomène d'amplification proprement dit. Si la fréquence des ondes sonores à l'extérieur est modifiée légèrement en plus ou en moins par rapport à celle de résonance, le phénomène ne s'arrête pas brusquement, mais graduellement, jusqu'à ce que la différence entre la fréquence d'excitation et celle de résonance soit telle à provoquer une résonance très faible ou absolument nulle.

Il n'est pas difficile de concevoir intuitivement la raison pour laquelle ce phénomène a été amplement exploité dans le domaine de l'électroacoustique; il permet, en effet, de corriger la réponse en fréquence des haut-parleurs. Une fois que les lois qui régissent le phénomène furent établies, il a été possible de calculer les caractéristiques mécaniques des enceintes où les dits haut-parleurs sont placés, dans le but de concentrer, au moyen de la résonance, les fréquences qui sont reproduites plus difficilement.

Le principe de résonateur de Helmholtz a donc rendu possible l'étude et la réalisation de dispositifs connus sous le nom de **bass-reflex**, dont nous nous occuperons prochainement.

### Interférence entre les sons

On obtient une interférence lorsque deux sons qui se propagent dans l'espace se rencontrent, en faisant vibrer la même masse du milieu de propagation.

Si les deux fréquences diffèrent de beaucoup entre elles, on les entend toutes les deux simultanément, sans qu'elles s'influencent mutuellement; nous l'avons vu, lors d'une exécution orchestrale où plusieurs sons sont émis simultanément.

Si, au contraire, les fréquences des deux sons qui se rencontrent sont parfaitement égales, on peut obtenir les phénomènes représentés par la figure 11. En A, il est aisé de noter que si les deux fréquences sont parfaitement en phase, on a comme résultat une on-

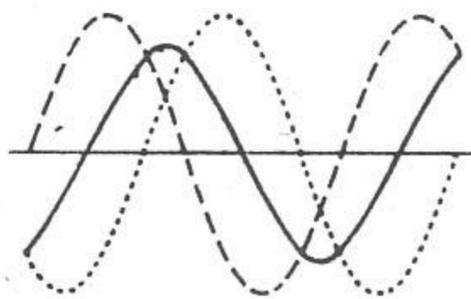


Fig. 11 E - Si le déphasage est supérieur à  $90^\circ$ , on a, au contraire, une soustraction des amplitudes des deux sons simultanés.

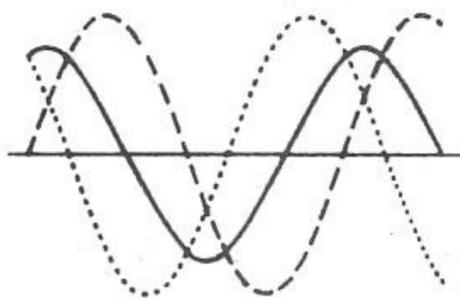


Fig. 11 F - Dans ce cas, le déphasage est plus grand et la résultante a une amplitude plus réduite.

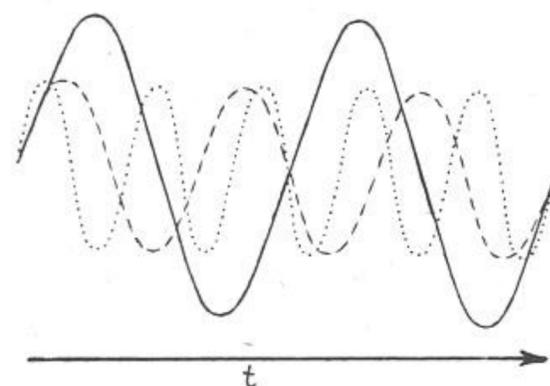


Fig. 12 - Représentation graphique de la formation de battements. La fréquence la plus élevée (en pointillé), accomplit 5 cycles pendant le temps « t ». La plus petite (en trait interrompu) en accomplit trois pendant le même temps. La résultante (en trait continu gras) se compose de  $5 - 3 = 2$  cycles complets.

de sonore unique, ayant la même fréquence et dont l'amplitude équivaut à la somme des deux. La section **B** représente le cas contraire, où la fréquence et l'amplitude sont égales, tandis que la phase est exactement opposée.

Dans ce cas, il est évident que chaque demi-période de l'une des ondes sonores annule celle correspondant à la seconde onde, de sorte que la résultante est nulle.

D'autres cas sont représentés dans les sections **C**, **D**, **E** et **F**, où l'on peut observer ce qui se passe lorsque les deux fréquences, ainsi que les deux amplitudes, sont égales, et le déphasage compris entre  $0^\circ$  et  $180^\circ$ .

Les possibilités dans ce domaine sont infinies, puisque les déphasages entre les deux fréquences et les différences éventuelles d'amplitude peuvent être infinies. En tous cas, en tenant compte du fait que la superposition de deux fréquences égales mais non rigoureusement en phase entre elles, donne naissance à des effets bien différents de ceux qu'on obtient lorsque les ondes sonores sont parfaitement en phase, il est évident que la mise en phase de deux sources sonores (qui fournissent les mêmes sons) situées dans un milieu unique, est extrêmement importante.

Si on considère, par exemple, le cas de deux ou plusieurs haut-parleurs actionnés par le même amplificateur et installés dans le même local, il est clair que si les bobines mobiles sont reliées de façon à provoquer simultanément des compressions et des dépressions de l'air, le son qui se propage devient désagréable à cause de la soustraction des amplitudes, due, à son tour, à l'interférence entre les ondes provenant des différentes unités.

Si deux sons ayant une fréquence légèrement différente, provenant de deux sources distinctes, se rencontrent dans l'espace, on obtient des battements, comme le montre la **figure 12**. Le phénomène est en tout point identique à celui que nous avons expliqué en son temps à propos de la conversion de fréquence dans les superhétérodynes. En effet, les deux sons qui se rencontrent engendrent un troisième son de fréquence égale à la différence entre les deux premiers.

Les causes qui peuvent produire les phénomènes considérés jusqu'à présent sont pratiquement infinies. Il est possible d'obtenir une interférence entre deux sons de même fréquence mais légèrement déphasés, dont l'un est émis par une source sonore unique et l'autre réfléchi par un mur avec un certain déphasage.

Il est également possible que deux haut-parleurs, installés par exemple, dans le même local et connectés entre eux de sorte que les vibrations des deux cônes soient parfaitement en phase, puissent provoquer malgré cela, des interférences désagréables. Le phénomène peut provenir d'une éventuelle différence de la vitesse de propagation des sons émis par les sources, due, à son tour, à des différences de température des deux endroits du local.

L'étude de ces phénomènes a permis d'établir les principes sur lesquels se base l'acoustique architecturale et des salles; ce qui montre que, même si l'on dispose d'un amplificateur à haute fidélité et de haut-parleurs dûment installés dans des meubles ayant des caractéristiques capables de corriger convenablement la courbe de réponse en fréquence, le meilleur résultat ne peut être obtenu que si on veille aussi soigneusement aux caractéristiques du milieu de propagation des sons émis.

#### NOTES sur l'ACOUSTIQUE des SALLES

Nous avons tous eu l'occasion de constater l'énorme différence qui existe entre l'écoute de la colonne sonore dans une salle de cinéma ne contenant que quelques spectateurs et l'écoute, dans la même salle lorsqu'au contraire toutes les places sont occupées.

D'une manière analogue, nous savons que dans un milieu constitué d'amples voûtes, arcs, coupes ou arcades, on obtient fréquemment des effets de réverbération du son. Dans les deux cas, la sensation désagréable de retentissement des ondes sonores à cause de laquelle chaque impulsion réverbérée se superpose à celle suivante émise par la source, en compromettant — parfois sérieusement — l'intelligibilité des sons, est

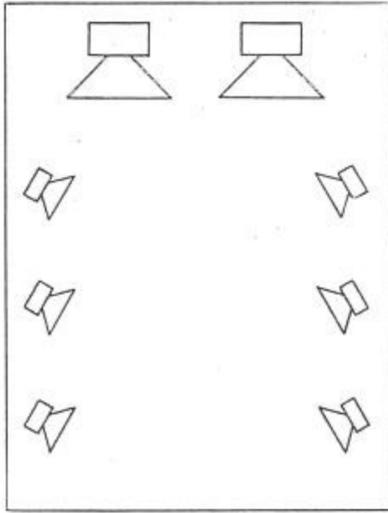


Fig. 13 - Exemple d'installation de haut-parleurs dans une salle cinématographique.

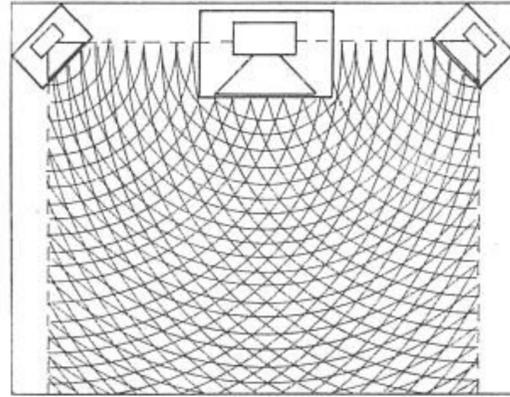


Fig. 14 - Disposition typique d'un haut-parleur destiné aux fréquences basses (au centre), et de deux plus petits réservés aux fréquences élevées du spectre sonore (sur les côtés), dans un local privé de dimensions moyennes. La distribution des ondes sonores y est représentée.

due à l'absence d'absorption de la part des murs.

Normalement, une salle de théâtre ou de cinéma a une longueur supérieure à 22 mètres et alors, on devrait inévitablement avoir un écho capable d'altérer gravement la propagation des sons émis par les haut-parleurs.

Dans la pratique, tout cela n'arrive pas parce que dans ces locaux les murs et le plafond sont revêtus, comme on peut l'observer aisément, de panneaux spéciaux appelés « antiréverbérants » constitués d'un matériau ayant des caractéristiques telles qu'il absorbe la majeure partie de l'énergie sonore, et n'en réfléchit qu'une petite partie seulement.

Dans les salles de concert et dans les théâtres où une propagation idéale est nécessaire, afin de permettre l'écoute en tous les points accessibles, en plus de panneaux antiréverbérants et de toiles disposés le long des murs, on note souvent la présence d'un tapis mou qui recouvre complètement le plancher. Un autre facteur qui contribue notablement à l'élimination des effets de réverbération du son, réside dans le fait que tous les sièges sont revêtus d'étoffe, ou rembourrés.

Afin d'obtenir une bonne reproduction des ondes sonores, particulièrement au cas où celles-ci proviennent d'un ou de plusieurs haut-parleurs installés dans le même local, il est indispensable que ceux-ci soient fixés à une certaine distance du plancher, de préférence au moyen de dispositifs en bois, afin d'éviter des vibrations métalliques qui pourraient se superposer à celles qu'on désire rayonner.

On sait que les ondes sonores sont d'autant plus directionnelles que leur fréquence est plus élevée. Pour cette raison, parfois, dans les installations à haute fidélité que nous traiterons à fond plus tard, on utilise en général deux haut-parleurs destinés à la seule reproduction des ondes sonores de fréquences basses et moyennes, tandis qu'on utilise plusieurs haut-parleurs aptes à la reproduction des fréquences élevées seulement, installés en différents points du local.

Dans ce cas, non seulement on veille soigneusement

à la mise en phase des dits haut-parleurs, comme nous l'avons dit précédemment, mais on revêt les murs de panneaux ou de matériaux antiréverbérants, de manière à exercer leur influence particulière sur les fréquences les plus aiguës. De la sorte, tandis que les fréquences graves se propagent dans toutes les directions grâce à leur caractéristique propre, qu'elles proviennent d'une seule ou de deux sources sonores; les fréquences aiguës sont au contraire, distribuées uniformément dans tous les sens. La **figure 13** représente une disposition de haut-parleurs dans une salle prévue pour une centaine de personnes.

Dans le cas de l'installation d'un ensemble de sonorisation de puissance réduite, comme ceux que l'on rencontre normalement dans les maisons particulières (récepteurs de radio, électrophones, amplificateurs de cinéma du type amateur, etc.), il convient d'observer les mêmes précautions qu'on observe dans les locaux de dimensions considérables.

En général, les appareillages de ce type sont installés dans un salon où normalement, on recouvre le plancher d'un large tapis et on installe des tentures tant devant les fenêtres que devant les portes d'entrée.

Dans un local similaire, ayant les dimensions d'environ quatre mètres de longueur, trois de largeur et trois ou quatre de hauteur, on préfère généralement installer un seul haut-parleur pour les notes basses et deux pour les notes aiguës, comme l'indique la **figure 14**. On obtiendra ainsi une distribution assez uniforme de toute la gamme des fréquences acoustiques et, étant donné les dimensions réduites de la salle, l'absorption sera normale tant pour le nombre minimum que maximum des auditeurs.

Dans une prochaine leçon, nous nous occuperons des équipements basse fréquence modernes, à savoir les appareils propres à la reproduction stéréophonique. Dans ceux-ci, le danger de réverbération et d'interférence prend une importance plus grande, étant donné que de tels inconvénients tendent à annuler les avantages de ce système.

## Leçon n° 113

# MESURES sur les AMPLIFICATEURS BASSE FREQUENCE

Les appareils de mesure les plus utiles pour l'étude (mise au point) et la réparation des circuits d'amplification basse fréquence sont, sans aucun doute, l'oscilloscope, le générateur de signaux d'ondes carrées ou sinusoïdales et, enfin, le voltmètre à tube. Dans cette leçon, nous examinerons une série de mesures qu'on peut réaliser à l'aide de tels instruments, sur les amplificateurs. Avant de décrire les techniques de mesure et d'essai, signalons les précautions générales suivantes :

1 - Avant de mettre en marche un amplificateur, il est nécessaire que sa sortie soit normalement chargée: sans cela, on peut risquer d'endommager sérieusement le tube final et le transformateur de sortie. Lorsque l'on effectue des essais purement qualitatifs (bande passante, etc...), la charge doit coïncider exactement avec l'impédance de charge optimum de l'étage de sortie de l'amplificateur, et par conséquent, elle peut être constituée par le haut-parleur lui-même ou par une résistance équivalente à l'impédance de la bobine mobile, mesurée à 400 Hz.

2 - Quand on effectue des mesures quantitatives et que l'on applique à l'entrée de l'amplificateur le signal provenant d'un générateur, il est conseillé de s'assurer que l'impédance d'entrée de l'amplificateur et celle de sortie du générateur soient adaptées parfaitement: dans le cas contraire, les résultats obtenus pourraient être faussés, en particulier lorsque les impédances en question sont faibles. En utilisant, au contraire, une entrée à impédance élevée, on peut, dans certaines limites, tolérer une adaptation moins rigoureuse.

### REPARATION des AMPLIFICATEURS

Si un amplificateur basse fréquence ne fonctionne pas correctement, ou s'il fournit une faible puissance de sortie, sa réparation est facile lorsqu'on dispose d'un oscilloscope, d'un générateur de signaux et, enfin, d'un voltmètre à tube.

Les premières mesures à réaliser sont celles de caractère général, que l'on effectue à l'aide d'un voltmètre. Elles se rapportent principalement à la vérification des tensions des électrodes des tubes, et en particulier des tensions de chauffage d'alimentation anodique.

Si tout semble en ordre, on commence à relier la sortie du générateur de signaux à l'entrée de l'amplificateur. Le dit générateur peut être constitué

d'un oscillateur B.F. quelconque, à ondes sinusoïdales ou carrées. On peut utiliser aussi le signal disponible à la sortie B.F. de l'oscillateur modulé ou la tension alternative à 50 Hz provenant de la sortie correspondante généralement présente sur les oscilloscopes.

Une fois que la tension d'entrée de l'amplificateur est réglée de façon qu'elle ne soit ni trop élevée ni trop faible on applique l'oscilloscope à l'entrée du premier étage d'amplification, c'est-à-dire entre la grille du premier tube amplificateur et la masse.

On doit alors constater, la présence du signal, quoiqu'avec une amplitude plus petite que celle existant à la sortie du générateur, parce que les circuits d'entrée introduisent toujours une certaine atténuation qui est assez considérable dans le cas où l'on a un correcteur de tonalité. Si aucun signal n'est présent, on doit examiner avec attention les circuits RC d'entrée, jusqu'à ce que l'on trouve la liaison interrompue ou le composant détérioré.

Si, au contraire, tout est en ordre, on commence l'analyse successive des circuits, en appliquant l'oscilloscope à la sortie du premier étage, c'est-à-dire entre la plaque du premier tube amplificateur et la masse. Ici également, si aucun signal n'est présent, il faut examiner tous les circuits et vérifier l'état du tube, tandis que si le signal est régulièrement présent, convenablement amplifié, on peut poursuivre l'examen des étages successifs en suivant le même processus, jusqu'à ce que l'on rencontre un étage à la sortie duquel le signal y est absent ou présente une amplitude insuffisante. Remarquons que tous les étages, sauf quelques types d'inverseurs de phase, doivent apporter une notable augmentation de l'amplitude du signal.

Après avoir localisé l'étage qui ne fonctionne pas régulièrement, il est probable qu'un simple examen visuel soit suffisant pour trouver des composants défectueux comme, par exemple, des résistances brûlées. Ensuite, on doit vérifier toutes les tensions; si l'une de ces dernières est absente ou a une valeur qui diffère fortement de celle prévue, on doit mesurer, après avoir éteint, l'amplificateur, la résistance correspondante. On doit contrôler enfin l'état du tube.

### MESURES de RONFLEMENT et de BRUIT

Pour ces mesures aussi il convient d'utiliser un oscilloscope en sorte qu'aucun signal ne soit présent à l'entrée de l'amplificateur et, ensuite, il faut explo-

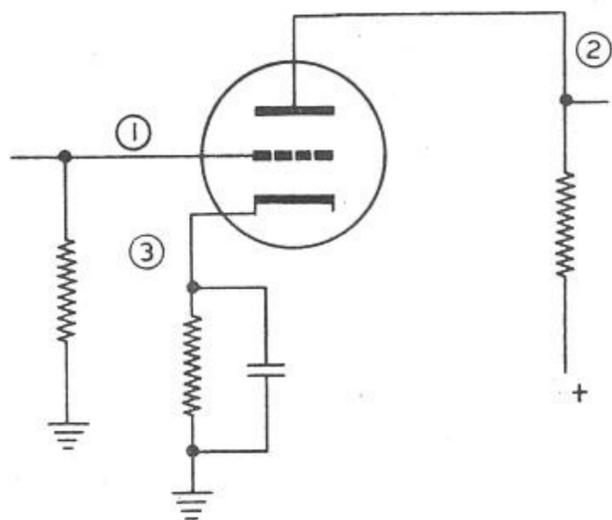


Fig. 1 - Si l'oscilloscope révèle la présence d'un ronflement au point 2 (anode), et non au point 1 (grille), il est probable qu'on le rencontre aussi au point 3 (cathode).

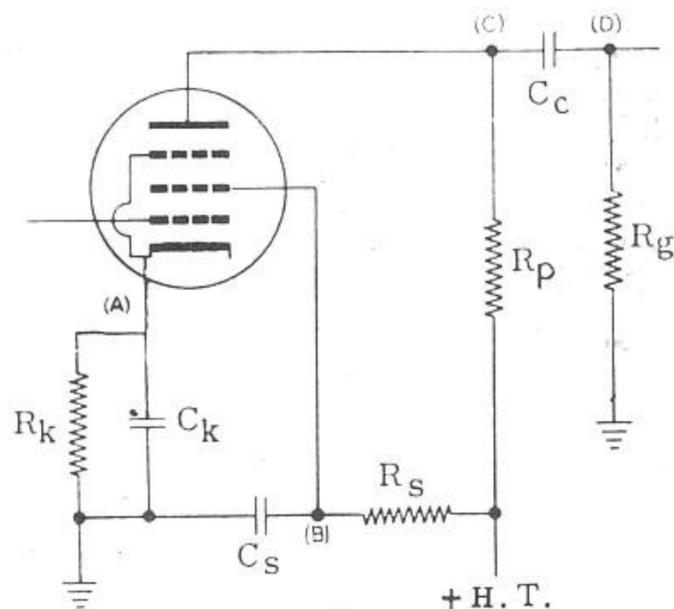


Fig. 2 - Vérification des condensateurs au moyen de l'oscilloscope. Le signal doit être présent en C et en D, et absent en A et en B.

rer tous les points du circuit pour vérifier l'éventuelle existence de signaux alternatifs parasites. Pour un tel examen, on commence en général par la sortie de l'étage d'alimentation. Souvent, en effet, le ronflement est dû à un filtrage insuffisant de la tension anodique qui détermine la présence, dans les circuits d'anode des tubes, d'un signal de fréquence 50 ou 100 hertz.

Si la sortie de l'étage d'alimentation est dépourvue de composante alternative, le ronflement est déterminé par d'autres causes et il faut examiner, à l'aide de l'oscilloscope, tous les étages, jusqu'à ce que l'on trouve le responsable.

Il faut noter qu'au fur et à mesure que l'on remonte de l'étage final vers les étages précédents, l'amplitude de la tension de ronflement diminue notablement et il faut alors augmenter la sensibilité du canal vertical de l'oscilloscope.

Le ronflement à 50 Hz est dû fréquemment aux couplages, intérieurs ou extérieurs, entre les circuits de cathode et ceux de filament, à l'absence de blindage, aux circuits de grille ouverts, au déséquilibre du circuit redresseur. Le ronflement à 100 Hz est au contraire, dû directement ou indirectement à la composante d'ondulation existant à la sortie du redresseur.

Il est possible qu'à l'intérieur d'un tube, des pertes capables d'apporter un ronflement à 50 Hz, se produisent entre la cathode et le filament. Considérons le schéma de la figure 1: si, à un examen oscilloscopique, on constate la présence d'un ronflement au point 2, alors que sur la grille (point 1) on n'a aucun signal alternatif parasite, il faut appliquer les bornes de l'oscilloscope sur la cathode du tube, pour vérifier si en ce point il existe un ronflement.

#### Orientation des transformateurs d'entrée

Dans plusieurs amplificateurs de type commercial, il existe des transformateurs d'entrée, employés surtout pour l'adaptation de l'entrée microphonique. La position de ces composants est critique, et elle est choisie, lors du montage, de telle sorte que le ronfle-

ment produit soit réduit au maximum. Dans le cas où la position du transformateur varie accidentellement, il faut pourvoir à son orientation, en suivant le processus indiqué ci-dessous:

1 - connecter l'oscilloscope de façon que l'on puisse observer sur l'écran le signal présent à la sortie de l'amplificateur.

2 - En l'absence de signal à l'entrée, tourner le bouton du contrôle de volume de l'amplificateur au maximum. Dans ce cas, le ronflement devrait déterminer sur l'écran de l'oscilloscope une trace lumineuse visible. Les contrôles de tonalité de l'amplificateur doivent être dans la position pour laquelle on obtient le ronflement maximum.

3 - Faire varier, graduellement et méthodiquement, la position du transformateur d'entrée jusqu'à ce que l'on obtienne celle qui correspond à l'amplitude minimale du ronflement. Ensuite, fixer le transformateur dans cette position.

On peut utiliser la même technique lors de l'étude et de la construction d'un amplificateur. Dans ce cas on peut l'étendre aussi à la recherche de la position optimale des éventuels transformateurs interétages, ainsi que du transformateur de sortie.

#### Essai des condensateurs de filtrage et de couplage

Le bon fonctionnement des condensateurs de filtrage ou de couplage peut être aisément et rapidement contrôlé à l'aide de l'oscilloscope. La figure 2 montre un étage amplificateur typique à pentode à couplage par résistance et capacité. Pour essayer les condensateurs de couplage et de découplage que comporte cet étage, on doit introduire à l'entrée un signal à fréquence acoustique, de préférence comprise entre 400 Hz et 1 000 Hz.

La vérification du condensateur de découplage du circuit de cathode peut être effectuée en reliant l'entrée verticale de l'oscilloscope au point A: la présence du signal en ce point indique que le condensateur est complètement ou partiellement coupé.

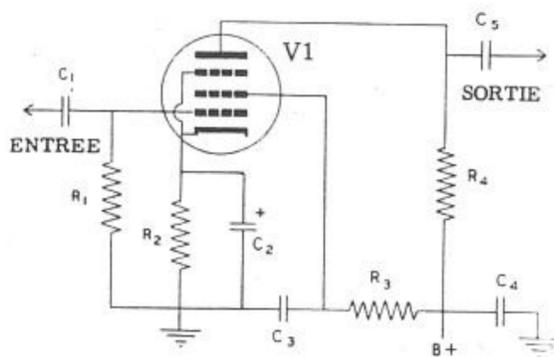


Fig. 3 A - Contrôle de la réponse en fréquence d'un étage amplificateur. Le signal pénètre entre C1 et la masse et est recueilli entre C5 et la masse.

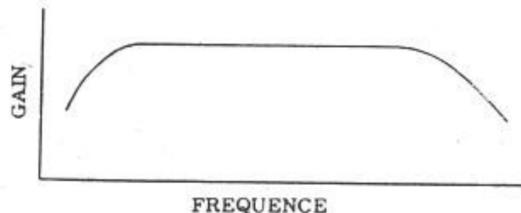


Fig. 3 B - Courbe de réponse de l'étage amplificateur de la figure 3 A. Remarquer la portion linéaire.

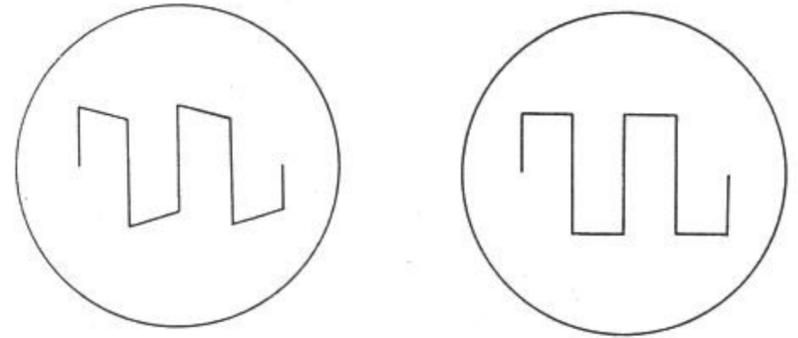


Fig. 4 A - Distorsion d'un signal à onde carrée, due à une mauvaise transmission des fréquences basses de la bande.

Fig. 4 B - Au-delà de la fréquence limite inférieure de la bande, l'onde carrée ne subit aucune distorsion.

Une mesure du même type, réalisée au point B, nous donne des indications concernant le condensateur de découplage de la grille écran.

Pour essayer, au contraire, le condensateur de couplage Cc, il faut déterminer les amplitudes relatives du signal au point C et au point D. L'éventuelle chute d'amplitude du signal, constatée au point D, indique que le condensateur de couplage est coupé. Pour déceler la présence de courts-circuits à l'intérieur de dits condensateurs, il n'y a pas lieu d'employer l'oscilloscope. En effet, un court-circuit du condensateur de découplage de la grille écran, provoque l'élimination de la résistance correspondante et l'absence de tension sur cette électrode.

Pour Cc et Ck, une mesure de tension est également suffisante; si entre le point A et la masse il n'existe aucune différence de potentiel, le condensateur Ck est en court-circuit et, de même s'il n'existe aucune différence de potentiel entre les points C et D, le condensateur Cc est en court-circuit.

### Essai sur les contrôles de volume et de tonalité

Les potentiomètres des systèmes de contrôle de volume et de tonalité peuvent, après un certain usage de l'amplificateur, devenir des sources de bruit. Souvent on peut le remarquer à l'oreille, en faisant tourner rapidement dans un sens ou dans l'autre le potentiomètre soupçonné.

Pour effectuer l'essai à l'aide de l'oscilloscope, il faut relier le curseur du potentiomètre à l'entrée verticale. En présence d'un signal à fréquence acoustique de faible amplitude, appliqué à l'entrée de l'amplificateur, observer la figure qui apparaît sur l'écran de l'oscilloscope lorsqu'on fait tourner rapidement en avant et en arrière le potentiomètre. L'amplitude du signal qui apparaît sur l'oscillographe, doit varier proportionnellement à la rotation du potentiomètre et ne pas présenter de discontinuité.

La présence de variations d'amplitude ne correspondant pas à la rotation du potentiomètre, de sursaut de l'image ou de perturbations de la figure, révèlent que

le potentiomètre en question introduit du bruit.

Quelquefois, le bruit introduit par un potentiomètre de contrôle de tonalité ou de volume est dû simplement à la présence de poussières ou d'autres matériaux qui se sont déposés sur la couche résistive sur laquelle glisse le curseur.

Dans ce cas, il n'y a pas toujours lieu de remplacer le potentiomètre; souvent, il est suffisant d'injecter au moyen d'un compte-gouttes ou d'une seringue, une quantité réduite de tétrachlorure de carbone à l'intérieur du potentiomètre et, ensuite, de le faire tourner fortement dans les deux sens.

Si, après un tel essai on peut encore remarquer des irrégularités de fonctionnement, le potentiomètre doit, sans délai être remplacé.

### RELEVÉ de la BANDE PASSANTE

Un générateur d'ondes carrées est l'instrument le plus apte à déterminer rapidement la réponse en fréquence d'un amplificateur, ou d'un simple étage d'amplification.

En observant le signal à onde carrée après son passage à travers l'amplificateur en essai, on peut faire immédiatement une série d'observations intéressantes qui, si on utilisait des signaux sinusoïdaux, demanderaient un travail moins aisé et plus long.

Voyons maintenant le procédé de mesure relatif à la détermination de la bande passante. Considérons l'étage amplificateur indiquée par la figure 3-A. Il s'agit d'un étage à couplage RC courant, utilisé dans la plupart des amplificateurs: sa courbe de réponse est donnée par la figure 3-B. Pour déterminer la réponse en fréquence d'un tel amplificateur, on doit connecter le générateur d'ondes carrées à l'entrée, c'est-à-dire entre la borne libre du condensateur C1 et la masse, et l'oscilloscope à la sortie, c'est-à-dire entre la borne libre du condensateur C5 et la masse.

On applique ensuite, des signaux de différentes fréquences à l'entrée, en observant chaque fois la courbe correspondante que l'on obtient à la sortie.

Il est important de régler soigneusement le niveau

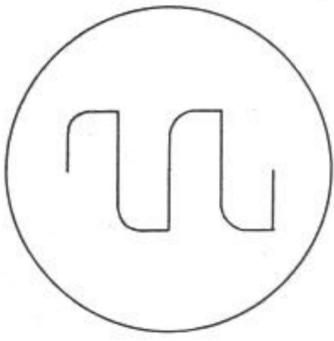


Fig. 5 A - On a une distorsion de ce genre, si la réponse aux fréquences élevées est mauvaise.

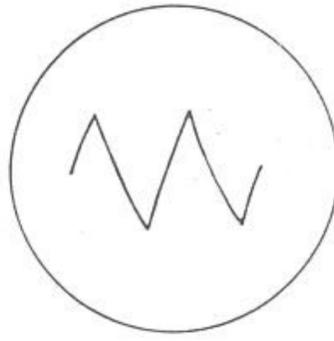


Fig. 5 B - Lorsqu'on a un notable affaiblissement des harmoniques les plus élevées, l'onde carrée devient triangulaire.

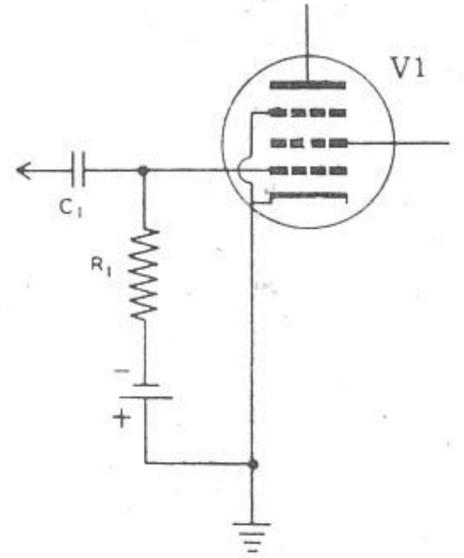


Fig. 6 - Exemple de polarisation de grille obtenue en insérant une batterie entre la grille et la masse.

du signal dirigé vers l'étage (sortie du générateur). Si on connaît la sensibilité de l'amplificateur en essai — et la tension du signal fourni — il est suffisant de régler cette tension à une valeur presque égale à la sensibilité de l'amplificateur.

Si ces indications ne sont pas connues, employer la plus petite tension de sortie du générateur, capable de donner une figure appréciable sur l'écran de l'oscilloscope. En augmentant fortement la tension, on risque de surcharger un étage quelconque d'amplification.

Pour les fréquences très basses, de l'ordre de quelques dizaines de hertz, le signal de sortie apparaît comme l'indique la **figure 4-A**.

Comme nous le savons déjà, c'est justement une telle distorsion qu'une onde carrée subit pendant le passage à travers un amplificateur ayant une limite inférieure de la bande passante supérieure à la fréquence fondamentale du signal.

En augmentant graduellement la fréquence, le signal de sortie prend la forme de la **figure 4-B**. Le passage de l'onde 4-A à l'onde 4-B, même s'il n'est pas brusque mais graduel, permet de déterminer, avec une grande exactitude, l'extrémité inférieure de la bande passante de l'amplificateur.

Pendant la première partie de la portion linéaire de la caractéristique de fréquence, le signal de sortie maintient son allure idéale, c'est-à-dire qu'il correspond exactement au signal d'entrée. Pour les fréquences relatives à la partie supérieure de la bande passante, le signal obtenu commence à avoir des angles arrondis, jusqu'à prendre une allure presque triangulaire pour les fréquences voisines de la limite supérieure de la bande (**figure 5-A** et **5-B**).

Tandis que pour la détermination de l'extrémité inférieure il n'y a aucun doute, parce qu'elle correspond à la plus basse fréquence du signal transmis sans distorsion, pour l'extrémité élevée il faut d'abord déterminer le nombre d'harmoniques supérieures que l'on considère comme suffisant pour représenter avec exactitude une onde carrée.

On a établi qu'une onde carrée est représentée

avec une approximation suffisante par ses **dix** premiers harmoniques, et par conséquent, pour déterminer l'extrémité supérieure de la bande passante, il suffit de multiplier par 10 la fréquence maximum du signal qui sort de l'amplificateur sans aucune distorsion, c'est-à-dire avec les arrêtes bien marquées.

Par exemple, supposons que les fréquences limites qui sont amplifiées sans altération soient de 50 Hz et de 2 kHz. Cela signifie que la bande passante s'étend de 50 Hz à  $10 \times 2$  kHz, c'est-à-dire de 50 Hz à 20 kHz.

Après avoir vu comment l'on peut déterminer la bande passante, prenons en considération le problème de l'élargissement de la dite bande.

### Amélioration de la réponse aux fréquences basses

La réponse aux fréquences basses dépend principalement de la capacité des condensateurs de couplage, C1 et C5, de la valeur de la résistance de grille, R1, ainsi que des deux condensateurs de fuite, C2 et C3, branchés dans les circuits de cathode et de grille écran (**figure 3-A**).

En général, plus les valeurs des composants mentionnés ci-dessus sont élevées, plus la réponse aux fréquences basses est étendue. Cependant, ce qui est important, ce n'est pas la valeur des condensateurs et des résistances considérés séparément, mais le produit RC, appelé « constante de temps » du circuit.

Par exemple, en considérant toujours l'étage de la **figure 3-A**, la constante de temps du circuit d'entrée est donnée par le produit  $C1 \times R1$ ; pour une bonne reproduction des fréquences basses, les différentes constantes de temps doivent être autant que possible élevées.

D'après ces considérations, on obtiendrait les conditions idéales de couplage au moyen de capacités de couplage et résistances de grille infinies. Dans la pratique, le fonctionnement correct de l'étage dans lequel le circuit de grille présente une résistance infinie, ou, comme on dit couramment, est en « l'air », est impossible: dans ce cas en effet, la grille n'est plus polarisée.

Les meilleures conditions de transfert du signal d'un

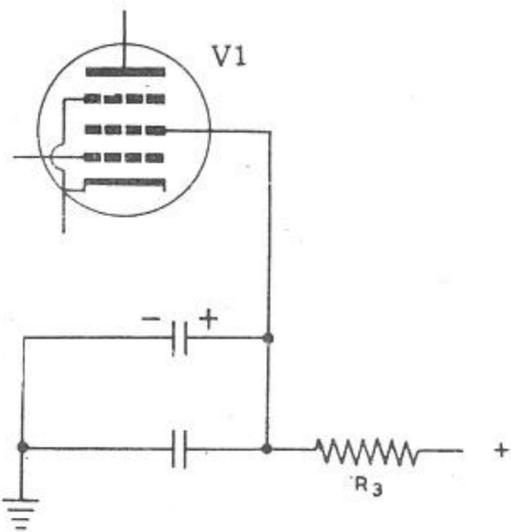


Fig. 7 - Elimination des effets de l'inductance parasite des condensateurs électrolytiques à forte capacité, au moyen d'un condensateur au papier branché en parallèle de capacité plus petite.

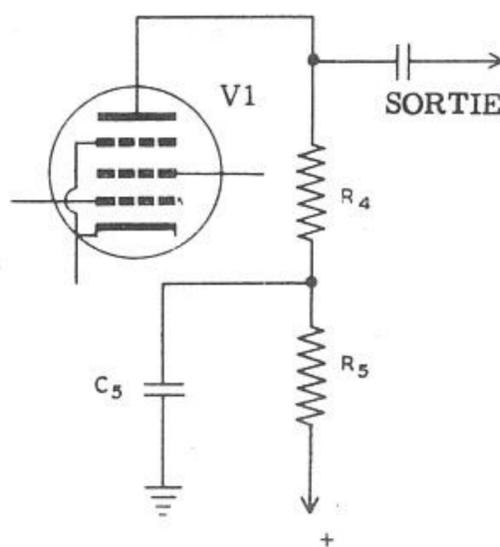


Fig. 8 - Circuit anodique de compensation. Les valeurs de  $C_5$  et de  $R_5$  sont telles que  $R_5$  fasse partie de la charge, uniquement aux fréquences basses.

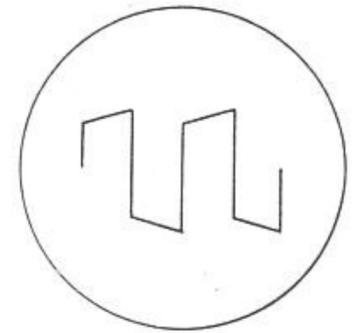


Fig. 9 - Si la valeur de  $C_5$  (figure 8) est insuffisante, ou celle de  $R_5$  est excessive, on peut obtenir l'effet contraire à celui recherché (atténuation des notes graves).

étage à l'autre, s'obtiennent par couplage direct, dont nous avons déjà parlé à plusieurs reprises. Il permet (par exemple, dans le cas des oscilloscopes) d'étendre la bande passante jusqu'au courant continu. Toutefois, le couplage direct comporte l'inconvénient déjà cité: la tension de grille d'un étage doit être égale à la tension de plaque de l'étage précédent.

C'est pourquoi, la tension d'anode de chaque étage doit être plus élevée que celle de l'étage précédent, ce qui impose des limites au nombre de couplages directs qu'on peut adopter dans un amplificateur, étant donné que la valeur maximum de la tension d'alimentation disponible est limitée.

Le condensateur de découplage de cathode, peut être — pour augmenter la constante de temps relative — un électrolytique à forte capacité. Toutefois, on préfère quelquefois utiliser la tension fournie par une batterie spéciale, pour obtenir la polarisation, comme le montre la figure 6; dans ce cas, la cathode est reliée directement à la masse; le circuit est analogue à celui à couplage direct que nous avons décrit à propos du circuit de grille, et il apporte les mêmes avantages.

En ce qui concerne le condensateur de découplage de la grille écran,  $C_3$ , il convient aussi que sa capacité soit élevée.

L'emploi des condensateurs électrolytiques, toutefois, n'est pas à conseiller dans ce cas, parce que ces condensateurs présentent, en général, une inductance parasite élevée qui diminue l'efficacité du condensateur pour les fréquences élevées. Il est donc nécessaire d'utiliser des condensateurs au papier de forte capacité, ou bien de brancher, en parallèle avec l'électrolytique, un condensateur au papier pour faciliter l'écoulement à la masse des fréquences élevées, comme on peut le voir sur la figure 7.

Les techniques considérées jusqu'à présent sont excellentes, mais elles comportent souvent des difficultés pratiques, tant à cause du coût élevé des composants, que de la difficulté de les mettre en oeuvre.

Afin d'éviter de tels inconvénients, on peut avoir recours au circuit de compensation représenté par la figure 8. Les valeurs de  $C_5$  et  $R_5$  sont choisies de telle

sorte que  $R_5$  fasse partie de la charge aux fréquences les plus basses, tout en n'ayant qu'une influence négligeable aux fréquences moyennes et élevées.

De cette façon, le signal de la figure 4-A, obtenu à l'extrémité inférieure de la bande passante, peut se transformer en celui de la figure 4-B, d'allure idéale. On a donc ainsi obtenu une amélioration réelle de la bande passante.

Les valeurs de  $C_5$  et de  $R_5$  ne peuvent pas être calculées d'avance; on doit les choisir expérimentalement en observant sur l'oscilloscope la forme d'onde d'un signal rectangulaire à fréquence basse. Elles sont plutôt critiques et elles peuvent donner lieu, si  $C_5$  est trop petit ou  $R_5$  trop élevée, à une distorsion en sens opposé, du type de celle déjà connue et indiquée à la figure 9.

### Amélioration de la réponse aux fréquences élevées

La réponse d'un amplificateur aux fréquences élevées est limitée normalement par l'effet de la capacité parasite totale aux bornes de la résistance de charge du tube. Cette capacité est due aux capacités de câblage, à la capacité interne plaque-cathode du tube et, enfin, à la capacité grille-cathode du tube de l'étage suivant.

La réactance que ces capacités offrent aux fréquences les plus élevées, abaisse la valeur de la résistance de charge  $R_4$ . Etant donné que les capacités mentionnées ci-dessus sont disposées en parallèle avec la charge anodique, la charge effective diminue et le gain en fait autant.

La meilleure solution consiste à diminuer la résistance de charge: c'est vrai qu'on obtient aussi une diminution du gain total, mais on a, par contre, un élargissement de la bande passante (figure 10).

Lorsqu'il n'est pas possible de diminuer la valeur de la résistance de charge, on doit avoir recours à des inductances de correction (figures 11-A et 11-B).

Dans un cas la bobine est branchée en série et dans l'autre en parallèle avec la capacité parasite totale, quelquefois on emploie aussi des combinaisons série-parallèle-

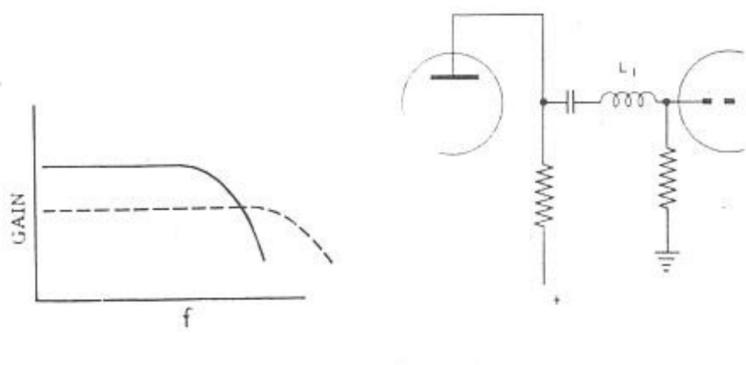


Fig. 10 - En diminuant la valeur de la résistance de charge, on obtient un gain plus petit et un élargissement de la bande passante.

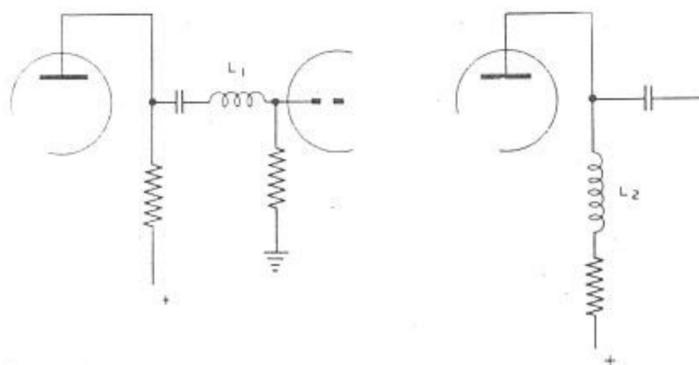


Fig. 11 A - Adjonction d'une inductance de correction ( $L_1$ ) en série avec la capacité parasite totale. Sa résistance sur les fréquences élevées améliore la réponse.

Fig. 11 B - Dans ce cas, la bobine de correction ( $L_2$ ) est en parallèle avec la capacité parasite (en série avec la résistance de charge). L'effet se traduit toujours par un élargissement de l'extrémité supérieure de la bande passante.

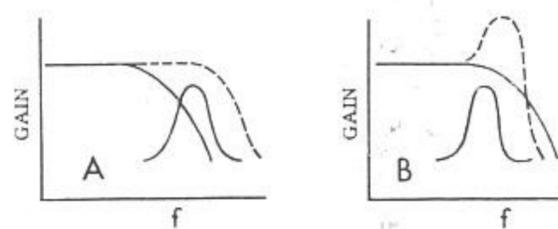
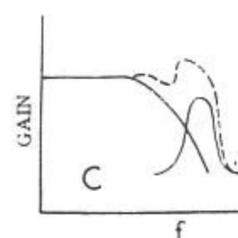


Fig. 12 - En A, amélioration de la réponse par effet de l'inductance de correction. En B et C on a illustré les inconvénients dus à une valeur non adaptée de la fréquence de résonance.



le. Dans les deux cas l'action est la même: les bobines forment un circuit résonnant (série dans le cas de la figure 11-A; parallèle dans le cas de la figure 11-B) dont le condensateur est constitué par la capacité parasite totale, et le dit circuit résonnant contribue à augmenter le gain de l'amplificateur aux fréquences élevées.

Par conséquent, si la fréquence de résonance de la bobine est choisie convenablement, on obtient une extension de la portion linéaire de la courbe réponse vers l'extrémité supérieure (figure 12-A). Les ondes carrées qu'on obtient à la sortie n'ont plus les angles arrondis, comme le montre la figure 13-A.

Naturellement, la fréquence de résonance doit être choisie convenablement: dans le cas contraire, on obtient des courbes du type de celle représentée en ligne pointillée sur les figures 12-B et C.

Elles représentent, respectivement, le cas où la fréquence de résonance de la bobine de correction est trop basse (à l'intérieur de la portion droite de la caractéristique), ou bien trop élevée. Dans le cas de la figure 12-B on obtient un signal à la sortie ayant l'allure de la figure 13-B.

Quelquefois, il peut se produire aussi une oscillation amortie (figure 13-C). Si la fréquence de résonance est trop élevée on obtient, au contraire, une oscillation superposée au signal carré et distorsion (figure 13-D).

Il peut arriver que le facteur de mérite de la bobine de correction « Q » soit trop élevé; dans ce cas, on a aussi des figures du type 13-B ou 13-C. Il faut alors connecter une résistance d'amortissement en parallèle avec la bobine (figure 14).

## MESURE de DISTORSION

Une des mesures les plus intéressantes qu'on peut effectuer sur les amplificateurs, se rapporte à la distorsion. L'importance de cet essai vient du fait qu'il indique directement la fidélité de l'appareil.

Les méthodes standard de mesure de la distorsion sont basées sur les considérations techniques suivantes:

1) Une onde sinusoïdale absolument dépourvue de

distorsion — ayant une fréquence bien déterminée — est appliquée aux bornes d'entrée de l'amplificateur qu'on veut essayer.

2) La sortie de l'amplificateur est branchée à un circuit où la fréquence fondamentale du signal appliqué à l'entrée est éliminée à travers un filtre passe-bas spécial.

3) Si dans le signal il n'y a aucune harmonique, on n'aura aucune tension à la sortie du filtre. Au contraire, en cas de présence de composantes harmoniques, on aura une tension parce que, le filtre étant accordé de façon à empêcher uniquement le passage de la fondamentale, les harmoniques, elles, seront transmises. En d'autres termes, à la sortie on aura une tension mesurable. Cette tension indiquera que l'amplificateur a déformé le signal appliquée à l'entrée.

4) La dite tension de distorsion est mesurée, et le taux de distorsion harmonique est égal au rapport entre la tension harmonique et la somme géométrique de cette dernière et de la fondamentale. Dans ce rapport, les deux tensions doivent être mesurées avant et après le filtre: la mesure peut être effectuée soit à l'aide d'un oscilloscope, soit avec un voltmètre à tube. Elle doit être répétée à différentes fréquences convenablement choisies dans la gamme des fréquences acoustiques.

Ce système est à la base de tous les instruments de mesure de la distorsion, en commerce.

Nous devons signaler que les difficultés auxquelles on se heurte pendant la mesure que nous venons de décrire sont nombreuses. Tout d'abord, il faut que le générateur de signaux puisse fournir une tension parfaitement sinusoïdale: les instruments de ce genre coûtent assez cher.

Une autre difficulté sérieuse concerne l'emploi des filtres. Un filtre idéal, destiné à la mesure de la distorsion harmonique, devrait être capable d'éliminer complètement la fondamentale, tout en permettant la transmission de toutes les harmoniques supérieures. Un filtre présentant de telles caractéristiques doit avoir une bande passante nettement définie, qui permette des mesures de distorsion harmonique précises, jusqu'à

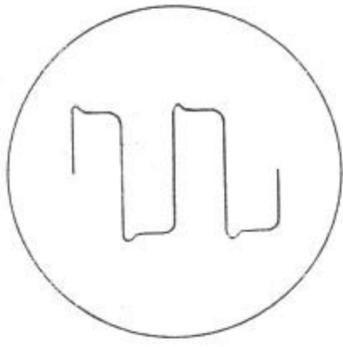


Fig. 13 A - Au moyen d'une fréquence de résonance adaptée, les ondes carrées de la figure 4-A, présentes à la sortie, ont une forme améliorée.

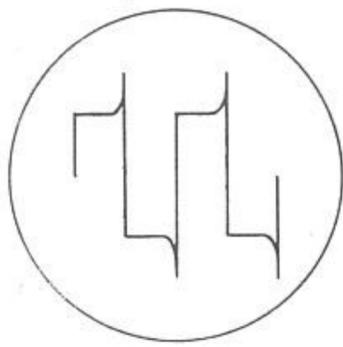


Fig. 13 B - Avec une exagération des fréquences élevées, les ondes carrées prennent la forme indiquée, c'est-à-dire sont affectées de distorsion.

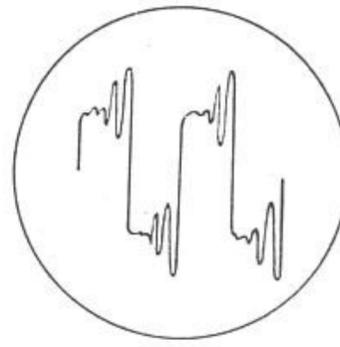


Fig. 13 C - Si la fréquence de résonance de la bobine de correction est mal adaptée, il peut se produire des oscillations parasites amorties.

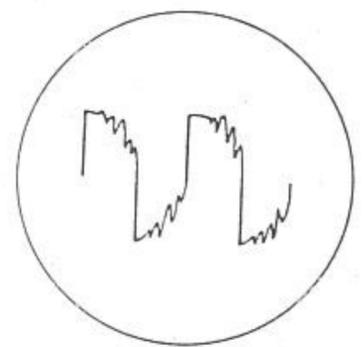


Fig. 13 D - Exemple de forme d'onde carrée affectée de distorsion à cause d'une fréquence de résonance trop élevée de la bobine de correction.

des pourcentages très faibles. Il doit être conçu avec soin et constitué au moyen de composants de qualité présentant un facteur de mérite  $Q$  élevé; dans ce cas, aussi, le prix de revient est considérable.

Une autre mesure sur les amplificateurs, qui peut être intéressante et significative, est celle de la **distorsion d'intermodulation**.

Il s'agit, en substance, de mesurer les actions réciproques entre deux signaux de fréquence différente, appliqués simultanément à l'entrée de l'amplificateur. Selon les techniques les plus récentes, on réalise de telles mesures en appliquant un signal à fréquence très basse, par exemple à 50 Hz, et un autre à fréquence très élevée, par exemple 15 kHz.

Si l'amplificateur possède des caractéristiques idéales et par suite, n'introduit aucune distorsion d'intermodulation, les deux signaux apparaissent à la sortie sans qu'aucune interférence entre eux ne se manifeste. Autrement, à la sortie, le signal à plus grande fréquence est modulé par celui à fréquence plus petite. La technique à suivre pour déterminer un tel pourcentage de modulation peut être divisée comme suit:

1) La composante à fréquence élevée modulée est séparée au moyen d'un filtre adéquat passe-haut.

2) Elle est, ensuite, démodulée et la valeur moyenne de ce signal est reportée à un niveau de référence prédéterminé, en agissant sur un contrôle de volume.

3) La composante à fréquence basse est, enfin séparée du reste du signal au moyen d'un filtre passe-bas et, ensuite, mesurée à l'aide d'un voltmètre à tube étalonné directement en valeurs de taux de distorsion d'intermodulation.

On rencontre aussi des difficultés pour les mesures de distorsion d'intermodulation et pour l'interprétation des résultats obtenus. Les filtres passe-haut et passe-bas requis, doivent avoir une courbe de réponse à flancs abrupts, afin de prévenir des interférences avec les fréquences éliminées et pour éviter une transmission imparfaite de celles à mesurer.

Par suite, dans ce cas, il faut aussi utiliser, pour la construction des filtres, des composants ayant un facteur de mérite élevé. De plus, aussi bien les rapports

d'amplitude des deux signaux que leurs fréquences, peuvent être choisis de différentes façons et, par conséquent, il y a lieu d'effectuer un nombre considérable d'essais se rapportant à ces différentes combinaisons de fréquences et d'amplitudes relatives.

Afin qu'un amplificateur puisse assurer une reproduction fidèle, il faut qu'il soit linéaire et, par linéaire, nous voulons désigner un comportement tel que le signal de sortie doit suivre fidèlement celui d'entrée.

Si la tension d'entrée est par exemple, doublée, la tension de sortie doit aussi devenir le double de sa valeur d'origine. Si la forme d'onde du signal d'entrée varie de quelque manière que ce soit, la forme d'onde de sortie doit également suivre des variations similaires avec naturellement, une plus grande amplitude due à l'amplification.

Toute distorsion, qu'elle soit harmonique, de phase, de fréquence ou d'intermodulation, est une cause de déformation de la forme d'onde de sortie par rapport à celle d'entrée.

Nous pouvons en déduire qu'un essai de linéarité de l'amplificateur (du signal de sortie par rapport au signal d'entrée) est très important. Un tel essai peut être effectué avec n'importe quel type de signaux d'entrée; il n'est pas nécessaire d'utiliser un générateur de signaux à haute pureté, parce qu'un amplificateur à haute fidélité doit reproduire exactement même une onde affectée de distorsion appliquée à l'entrée.

La méthode consiste à appliquer, pour chaque fréquence choisie pour l'essai, une série de différentes tensions d'entrée, et à vérifier que les variations correspondantes de la tension de sortie sont proportionnelles. Si la tension de sortie est représentée graphiquement en portant en abscisses les valeurs de la tension d'entrée, et en ordonnées les valeurs correspondantes de la tension de sortie on doit obtenir une droite pour un amplificateur qui n'introduit aucune distorsion. S'il n'en n'est pas ainsi, c'est la preuve que l'amplificateur est affecté de distorsion. Une telle absence de linéarité peut être attribuée à tous les types fondamentaux de distorsion.

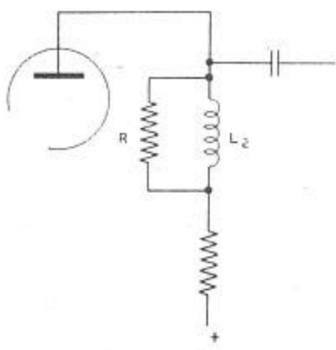


Fig. 14 - Pour diminuer le facteur de mérite (Q) de la bobine, il peut être nécessaire de brancher en parallèle avec elle, une résistance d'amortissement dont la valeur est déterminée expérimentalement.

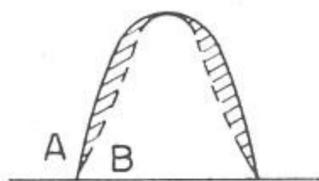


Fig. 15 - Superposition de deux demi-alternances du signal d'entrée (A) et du signal de sortie (B). La zone hachurée indique la différence entre les deux aires qui, divisée par l'aire limitée par A, donne le taux de distorsion.

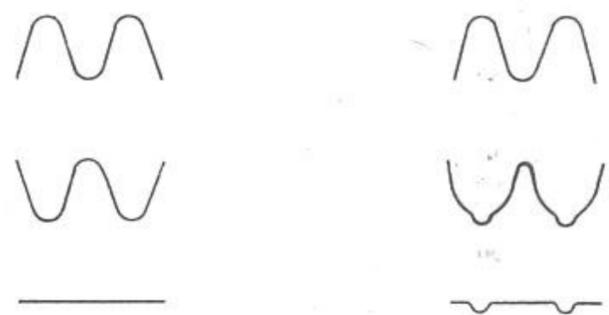


Fig. 16 A - En superposant deux demi-périodes déphasées (l'une d'entrée et l'autre de sortie) sans aucune distorsion, la résultante (en bas) est nulle.

Fig. 16 B - Si, au contraire, le signal de sortie est affecté de distorsion, la tension correspondante apparaît sur l'écran (en bas).

La méthode de vérification de la linéarité, point par point, est difficile parce que les essais doivent être réalisés, non seulement pour les différentes fréquences et tensions d'entrée, mais aussi pour diverses positions des curseurs des potentiomètres de contrôle de volume et de tonalité de l'amplificateur.

Nous décrivons, maintenant, des circuits et des méthodes propres à effectuer de manière rapide et automatique les mesures dont nous venons de parler.

### Méthode du déphasage

Supposons qu'un signal sinusoïdal soit appliqué aux bornes d'entrée de l'amplificateur en essai. Une demi-alternance du signal d'entrée est représentée sur la figure 15 (courbe A). Maintenant, si le signal de sortie de l'amplificateur est réglé de façon à avoir la même tension de crête que celui d'entrée, il peut apparaître comme la courbe B. L'aire délimitée par la courbe A, diminuée de celle relative à la courbe B, indique l'importance de la distorsion subie par le signal de sortie: si cette différence est divisée par l'aire délimitée par la courbe A, on obtient la mesure du taux de distorsion. L'aire hachurée sur la figure 15, représente la différence en question.

La distorsion peut être relevée ainsi, en examinant successivement sur l'écran d'un oscilloscope les signaux de sortie et d'entrée, à condition toutefois de régler les commandes de telle sorte que les signaux présentent la même amplitude. Pour faire la comparaison, les traces peuvent être dessinées au crayon sur un papier semitransparent.

Les signaux d'entrée et de sortie doivent être en phase. Quelque fois, dans ce but, il y a lieu d'utiliser un déphaseur à résistance-capacité, dans le cas où l'amplificateur en essai est affecté de distorsion de phase.

Dans la méthode du déphasage de mesure de la distorsion, le signal d'entrée est déphasé de  $180^\circ$  par rapport au signal de sortie et les deux signaux sont mélangés après qu'ils aient été réglés de façon à avoir la même amplitude. Si on n'a pas de distorsion, les deux

signaux étant égaux en amplitude et de phase opposée, s'annulent mutuellement. Le phénomène est représentée par la figure 16-A. Si, au contraire, le signal de sortie est affecté de distorsion, seule la portion égale et opposée au signal d'entrée s'annule: le reste, représentant la distorsion apparaît sur l'écran, comme on le voit sur la figure 16-B. Il peut être mesuré aussi au moyen d'un voltmètre à tube.

L'amplitude de la composante de distorsion peut être successivement comparée au signal total de sortie et, de cette façon, on peut facilement calculer le taux de distorsion.

La figure 17 représente le schéma complet d'un circuit qui permet de déterminer le taux de distorsion d'un amplificateur, suivant la méthode que nous venons de décrire.

Le tube 12AU7 (double triode) remplit les fonctions de mélangeur, parce qu'il reçoit les signaux provenant de la sortie de l'amplificateur et de la sortie du générateur, respectivement sur les deux grilles. Le signal résultant est prélevé sur le circuit de cathode commun aux triodes.

A la sortie de l'amplificateur est branchée une charge constituée par la résistance R1 non inductive dont la valeur est égale à l'impédance de sortie de l'amplificateur, et pouvant dissiper une puissance égale au moins au double de la puissance normale de sortie de l'amplificateur.

Le niveau du signal qui provient de la sortie du générateur peut être dosé au moyen du potentiomètre R2 tandis que le niveau du signal sortant de l'amplificateur est réglable au moyen de R3. Ces deux potentiomètres sont réglés de telle sorte que les deux signaux présents sur les deux grilles du 12AU7 aient exactement la même amplitude.

Le transformateur T qui peut très bien être du type normalement utilisé pour l'attaque d'un étage final symétrique, permet d'obtenir deux signaux de phase opposée, que l'on peut sélectionner à l'aide du commutateur S.

La présence de deux signaux en opposition de phase

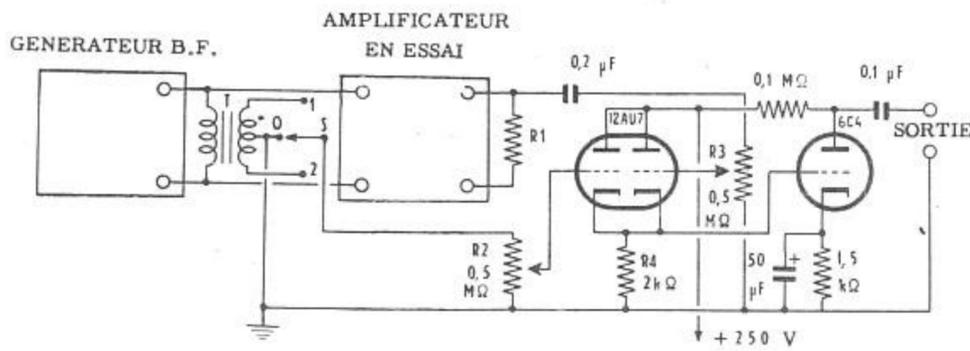


Fig. 17 - Circuit électrique d'un distorsiomètre basé sur la méthode du déphasage. Le commutateur S permet d'inverser la phase du signal qui provient directement du générateur. Les deux potentiomètres, R2 et R3 permettent de régler l'amplitude des deux signaux, dans le but d'obtenir à la sortie deux tensions égales et déphasées de 180° par rapport à la fondamentale seule.

et nécessaire par ce qu'il existe des amplificateurs qui produisent un déphasage de 180° (nombre impair d'étages) et d'autres qui en amènent aucun (nombre pair d'étages).

Il est évident que l'on tient uniquement compte du déphasage dû au fonctionnement même de l'amplificateur (qui dépend du nombre d'étages, et non de la distorsion de phase introduite).

Le signal qui sort du 12AU7, prélevé sur la cathode, est appliquée à la grille de la triode 6C4 qui joue le rôle d'amplificateur de distorsion.

Lorsque l'amplificateur en essai n'introduit pas de distorsion, on n'a aucun signal à la sortie du 12AU7 parce que les signaux présents dans les deux sections, égaux mais de phase opposée, s'annulent. Lorsqu'au contraire le signal de sortie est affecté de distorsion, il apparaît sur la cathode un signal qui correspond à la composante de distorsion. Celle-ci est amplifiée par le tube 6C4 et prélevée sur son anode. Elle est ensuite transmise, à travers un condensateur de 0,1 μF, à l'entrée de l'amplificateur vertical d'un oscilloscope et à un voltmètre à tube (en position volt c.a.).

Il convient de régler le potentiomètre du générateur et celui de l'amplificateur de façon à obtenir successivement différentes puissances comprises entre 0 et la puissance maximale que l'amplificateur est capable de fournir, et d'effectuer une mesure de distorsion pour chaque valeur de puissance.

De cette façon, on se rend compte du comportement de l'amplificateur à toutes ces puissances de sortie. Il est aussi conseillé d'effectuer les essais avec des fréquences différentes, afin de voir quelle est l'influence de la fréquence sur le taux de distorsion.

Le procédé que nous venons de décrire est capable de donner des résultats satisfaisants dans la plupart des cas. Toutefois, lorsque le déphasage introduit par l'amplificateur entre les signaux d'entrée et de sortie, n'est, ni de 0° ni de 180°, il convient d'insérer un simple circuit déphaseur RC de façon à rétablir la différence de phase désirée, entre les signaux appliqués sur les deux grilles du 12AU7.

Voyons comment on peut effectuer, en pratique, la mesure :

1) Régler les potentiomètres du générateur et de l'amplificateur pour obtenir la puissance maximum.

2) Connecter les bornes de sortie du dispositif de la figure 17 à l'entrée d'un voltmètre à tube ou d'un oscilloscope, et régler R2 et R3 pour obtenir une lecture nulle ou minimum. L'interrupteur S doit être en position 1.

3) Si avec l'interrupteur en position 1, on n'a pas une lecture nulle, passer sur la position 2 et répéter le réglage de R2 et R3. Choisir la position de S qui détermine la lecture la plus petite. Soit U1 cette valeur.

4) Débrancher de la grille de la première triode le signal qui provient de la sortie du générateur (en mettant l'inverseur sur la position 0). Lire sur l'instrument de sortie la tension présente sur la plaque du 6C4; une telle tension sera maintenant, le signal d'entrée en opposition de phase est absent. Soit U2 cette tension.

5) On peut alors procéder au calcul de taux de distorsion, au moyen de la formule :

$$D (\%) = 100 \times (U1 : U2)$$

D (%) = taux de distorsion; U1 et U2 = Tensions lues.

L'oscilloscope offre l'avantage de donner aussi la forme d'onde du signal de distorsion, de laquelle on peut déduire la cause déterminante. Le voltmètre à tube, par contre, permet des mesures de tensions plus précises et il est mieux adapté au calcul proprement dit du taux de distorsion.

Le circuit de figure 17 est de réalisation pratique facile et il peut être construit sur un châssis comportant aussi l'étage d'alimentation.

De cette façon, il devient un **distorsiomètre** proprement dit.

Au moyen de la méthode du déphasage, on peut aussi mesurer la distorsion produite par un seul étage ou examiner le comportement de chaque composant (transformateurs, etc.).

**QUESTIONS sur les LEÇONS 112 et 113**

- N. 1 — Qu'entend-on en acoustique, par seuil d'audibilité? A combien de dB et de  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  correspond-il?
- N. 2 — Quelle différence existe-t-il entre le décibel et le phone?
- N. 3 — A quoi sert le phonomètre?
- N. 4 — Qu'entend-on par réflexion d'un son?
- N. 5 — Dans quels cas une onde sonore est-elle réfractée?
- N. 6 — Quel est l'intervalle de temps minimum qui doit exister entre deux sons pour que l'oreille humaine puisse les distinguer?
- N. 7 — Qu'entend-on par temps de réverbération?
- N. 8 — Quelle est la caractéristique des matériaux d'absorption vis à vis des ondes sonores?
- N. 9 — Quels sont les instruments indispensables pour la mise au point des amplificateurs basse fréquence?
- N. 10 — De quelle façon est-il possible de vérifier le fonctionnement d'un étage amplificateur basse fréquence?
- N. 11 — Comment est-il possible de déterminer la position optimum d'un transformateur d'entrée?
- N. 12 — Comment s'effectuent le contrôle et la recherche de la cause du ronflement qui se produit à l'intérieur de l'amplificateur?
- N. 13 — Comment contrôle-t-on le ronflement dû au couplage entre la cathode et le filament d'un tube?
- N. 14 — Comment est-il possible, au moyen de l'oscilloscope de contrôler les condensateurs de découplage et de couplage?
- N. 15 — Pendant le relevé de la bande passante d'un amplificateur, du côté des fréquences hautes, quelle doit être la fréquence de l'onde carrée introduite pour que la forme d'onde de sortie soit encore régulière?
- N. 16 — De quelle façon est-il possible, dans un amplificateur basse fréquence, d'améliorer la réponse d'un étage aux fréquences élevées?
- N. 17 — De quelle façon est-il possible de déterminer la valeur du taux de distorsion harmonique d'un étage amplificateur?
- N. 18 — Comment est-il possible de tracer la courbe générale de réponse qui représente aussi le fonctionnement des dispositifs de contrôle de tonalité?

**REponses aux QUESTIONS de la p. 883**

- N. 1 — Il y a distorsion dans un amplificateur lorsque la forme d'onde du signal de sortie est différente de celle d'entrée. On distingue: la distorsion de fréquence, de phase, d'amplitude et d'intermodulation.
- N. 2 — La courbe de réponse représente les variations de la tension de sortie en fonction de la fréquence du signal, la tension d'entrée étant constante. Dans les portions où la courbe de réponse n'est pas linéaire on a une distorsion de fréquence.
- N. 3 — Lorsque la phase des signaux à la sortie de l'amplificateur est différente de celle existant à l'entrée.
- N. 4 — La distorsion d'amplitude. Pour l'éviter, il convient de ne pas surcharger l'étage, afin que l'amplitude du signal d'entrée ne puisse dépasser les limites de linéarité de la caractéristique dynamique du tube.
- N. 5 — Non, parce que, pour obtenir une distorsion d'intermodulation, il faut qu'il existe au moins deux composantes sinusoïdales de fréquence différente.
- N. 6 — Il y a réaction chaque fois que l'on reporte à l'entrée d'un amplificateur une fraction de la tension de sortie. Elle peut être positive si le signal réinjecté à l'entrée est en phase avec celui déjà présent, ou négative s'il est déphasé de  $180^\circ$ .
- N. 7 — La réaction de tension qu'on obtient lorsque l'amplitude du signal réinjecté à l'entrée est proportionnelle à la tension de sortie, et la réaction d'intensité qui se manifeste lorsque l'amplitude est, au contraire, proportionnelle à l'intensité du courant de sortie.
- N. 8 — La contre-réaction de tension diminue l'impédance de sortie: celle d'intensité l'augmente.
- N. 9 — Une diminution remarquable de la tension de sortie de l'amplificateur.
- N. 10 — Une excellente stabilité une extension importante de la bande passante et, principalement, une forte diminution de la distorsion.
- N. 11 — Oscillations parasites, bruit et ronflements.
- N. 12 — Celles à fréquence basse et celles à haute fréquence. Elles sont toujours engendrées par une réaction positive indésirable due à des couplages inductifs parasites. Celles à fréquence acoustique peuvent également provenir d'une inversion involontaire des connexions de contre-réaction au secondaire du transformateur de sortie.
- N. 13 — Effet microphonique, que l'on peut éliminer par l'emploi de supports de tubes fixés de façon élastique et, surtout, par l'emploi de tubes spécialement étudiés; bruit thermique, éliminable au moyen de résistances à haute stabilité; souffle des tubes, éliminable par l'emploi de tubes à grande pente.
- N. 14 — Couplage entre des circuits parcourus par les tensions alternatives qui proviennent du réseau. Il faut tout d'abord éviter le rapprochement entre les circuits parcourus par ces tensions et ceux d'entrée des premiers étages. On doit également soigner le filtrage de la haute tension continue d'alimentation, afin que la composante d'ondulation soit négligeable.
- N. 15 — Le transformateur d'alimentation et l'inductance de filtrage doivent être parallèles entre eux et perpendiculaires au transformateur de sortie. Le transformateur d'entrée, sous le châssis, doit être perpendiculaire aux deux précédents, sur la troisième dimension.

## L'ADAPTATION des HAUT-PARLEURS aux AMPLIFICATEURS

Le signal électrique disponible à la sortie des amplificateurs B.F. est transformé en ondes sonores à l'aide de haut-parleurs, ou de dispositifs transducteurs équivalents. Dans cette leçon nous nous occuperons des modalités de branchement du (ou des) haut-parleur à la sortie de l'amplificateur de puissance permettant d'obtenir les meilleurs résultats.

Lorsqu'il s'agit d'un seul haut-parleur, aucun problème d'adaptation électrique particulièrement ne se pose il est, en effet, suffisant que l'impédance de la bobine mobile du haut-parleur soit égale à l'impédance du secondaire du transformateur de sortie auquel elle est reliée. Presque toujours les transformateurs de sortie sont pourvus de secondaires à plusieurs prises, afin de permettre l'adaptation de haut-parleurs de différentes impédances.

Un autre facteur dont il est indispensable de tenir compte, est la puissance du haut-parleur: si on applique à un haut-parleur une puissance de travail supérieure à celle pour laquelle il a été prévu, il sera détérioré et, en peu de temps bien qu'il continue souvent à fonctionner, il apporte une distorsion importante.

Tout ce que nous avons dit au sujet d'un seul haut-parleur, concernant l'impédance et la puissance, est également valable dans le cas de deux ou plusieurs haut-parleurs, à condition de considérer l'impédance totale du circuit qui comprend tous les haut-parleurs. Une telle impédance est celle vue des deux bornes d'entrée, c'est-à-dire des bornes qui doivent être reliées au secondaire du transformateur de sortie. Les haut-parleurs devront être connectés de telle sorte que chacun d'eux reçoive la puissance pour laquelle il a été conçu.

S'il s'agit de lignes de haut-parleurs identiques, la solution du problème est, comme nous le verrons, relativement simple. Si, au contraire, les haut-parleurs qu'on veut relier à un amplificateur unique, sont différents, tant en ce qui concerne leur puissance de travail que leur impédance, il n'est pas toujours possible de trouver une solution parfaite, et on doit souvent se contenter d'approximations, surtout pour la distribution des charges à chaque élément.

Les lignes de haut-parleurs peuvent être subdivisées en deux catégories fondamentales: lignes à **basse impédance** et lignes à **moyenne impédance**. Les lignes à basse impédance sont obtenues en reliant directement entre elles les bobines mobiles des haut-parleurs, les bornes de la ligne étant reliées au secondaire du transformateur de sortie. Dans les lignes à moyenne impédance, au contraire, les bobines mobiles ne sont pas connectées directement entre elles, ni directement au secondaire du transformateur de sortie, parce que **chaque haut-parleur est muni de son propre transformateur d'entrée** et c'est l'ensemble des primaires des transformateurs d'entrée, convenablement connectés, qui constitue la ligne à moyenne impédance.

Les lignes de basse impédance sont, en général, de l'ordre de quelques ohms. Dans ces lignes, l'adaptation d'impédance entre le circuit de charge du tube final et les bobines mobiles des haut-parleurs, est obtenue ex-

clusivement au moyen du transformateur de sortie.

Dans le cas des lignes à moyenne impédance, l'adaptation est, au contraire, obtenue en deux temps. L'impédance de charge du tube final est d'abord ramenée au moyen du transformateur de sortie, à une valeur comprise entre 50 et 5 000 ohms. Ensuite, chaque transformateur d'entrée des haut-parleurs adapte cette dernière impédance (impédance moyenne) à celle de la bobine mobile du haut-parleur.

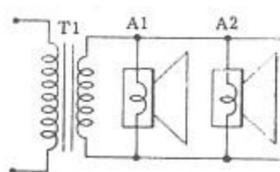


Fig. 1-A - Liaison au moyen de ligne à basse impédance.

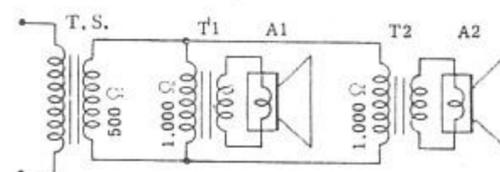


Fig. 1-B - Liaison de haut-parleurs au moyen de ligne à impédance. Chacun d'eux doit avoir son propre transformateur d'adaptation.

Lorsque la distance qui sépare le ou les haut-parleurs de l'amplificateur est courte, on préfère les lignes à basse impédance. Par contre, quand il faut distribuer la puissance fournie par l'amplificateur à des haut-parleurs assez éloignés (cela se produit, par exemple, dans les salles de projection cinématographique), on préfère adopter les lignes à moyenne impédance. Un exemple de ligne à basse impédance et un autre à moyenne impédance sont représentés par les figures 1-A et 1-B.

### CALCUL des DISTRIBUTIONS à BASSE IMPEDANCE

Comme nous l'avons déjà dit, les deux éléments fondamentaux à considérer sont: l'impédance et la puissance de travail des haut-parleurs.

**Haut-parleurs identiques** - Si les haut-parleurs à relier sont tous identiques, le calcul des circuits est assez simple: on peut considérer — à ce propos — trois cas: branchement en parallèle, branchement en série et branchement en série-parallèle.

1) **Haut-parleurs en parallèle.** - Les impédances de tous les haut-parleurs étant égales, on calcule l'impé-

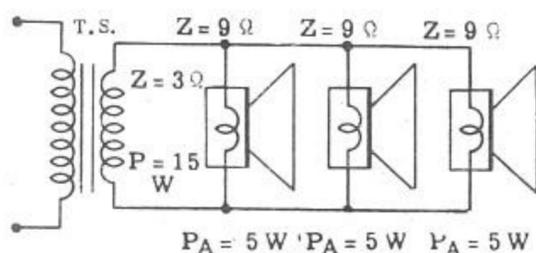


Fig. 2 - Haut-parleurs de caractéristiques identiques en parallèle sur une ligne à basse impédance.

dance totale simplement en divisant celle d'un haut-parleur par le nombre des haut-parleurs. La puissance maximum s'obtient, au contraire, en multipliant la puissance de travail  $P_A$  d'un haut-parleur par le nombre des haut-parleurs. La disposition est indiquée par la figure 2, et nous avons les relations suivantes:

$$Z = Z_A : N \quad \text{et} \quad P = P_A \times N$$

où  $Z_A$  et  $P_A$  sont, respectivement, l'impédance et la puissance de travail d'un seul haut-parleur et  $N$  est le nombre de haut-parleurs;  $Z$  et  $P$  sont l'impédance et la puissance de toute la ligne.

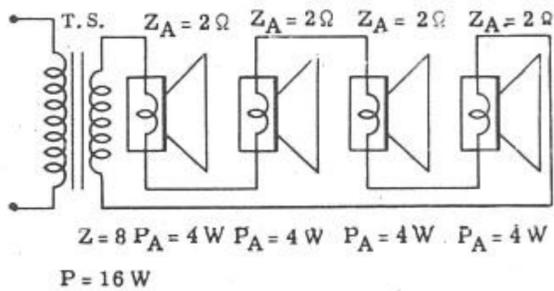


Fig. 3 - Haut-parleurs de caractéristiques identiques en série avec une ligne à basse impédance.

Supposons, par exemple, que les trois haut-parleurs de la figure 2 aient chacun une impédance de 9 ohms et une puissance de travail de 5 watts. Il est alors nécessaire de relier la ligne à la prise du transformateur de sortie correspondant à une impédance  $Z = 3 \times 9 = 27$  watts, lesquels se distribuent uniformément entre les trois haut-parleurs: 5 watts pour chacun d'eux. Les lignes parallèles sont à conseiller dans le cas où les haut-parleurs ont une impédance  $Z_A$  assez élevée, de sorte que l'impédance totale  $Z$  de la ligne soit encore suffisamment élevée (au moins 1 ohm).

2) **Haut-parleurs en série.** - Cette disposition est représentée par la figure 3. L'impédance de la ligne  $Z$ , est dans ce cas égal à:  $Z = N \times Z_A$

La puissance de travail reste comme le cas précédent:

$$P = N \times P_A$$

Supposons, par exemple, que l'on veuille connecter entre eux quatre haut-parleurs en série, dont l'impédance  $Z_A$  soit de 2 ohms et la puissance de travail de 4 watts. Dans ce cas, l'impédance de la ligne est de  $4 \times 2 = 8$  ohms et la puissance applicable de  $4 \times 4 = 16$  watts. Cette fois, aussi, la puissance totale se distribue uniformément entre les haut-parleurs: 4 W pour chaque.

Comme il est aisé de le concevoir par intuition, le branchement en série des haut-parleurs se révèle indispensable dans le cas où les impédances des bobines mobiles sont plutôt faibles, ou, de toute façon lorsque leur somme ne dépasse pas la valeur de l'impédance disponible sur les diverses prises du secondaire du transformateur de sortie. En outre, ce branchement a l'avantage de fournir, en ligne, une intensité moindre, donc, moins de pertes, pour peu que la ligne soit assez longue.

3) **Haut-parleurs en série-parallèle.** - On a souvent recours à cette disposition, parce qu'elle permet d'obtenir des valeurs d'impédance de type intermédiaire, comme nous le verrons clairement dans un prochain exemple. Considérons le cas typique d'une ligne de haut-parleurs branchés en série-parallèle représenté par la figure 4. L'impédance de cette ligne peut être calculée facilement en tenant compte du fait que les haut-parleurs A1 et A2 sont en série et par conséquent donnent une impédance de  $2 \times Z_A$ , c'est-à-dire de 8 ohms; cela est valable aussi pour les haut-parleurs A3 et A4. Ces deux groupes sont en parallèle et on obtient donc, comme impédance résultante totale,  $8 : 2 = 4$  ohms. Une telle impédance est égale à celle de la bobine mobile d'un seul haut-parleur.

En installant les mêmes quatre haut-parleurs en série ou en parallèle, on obtient des impédances de 16 ohms et de 1 ohm, respectivement. Or, le transforma-

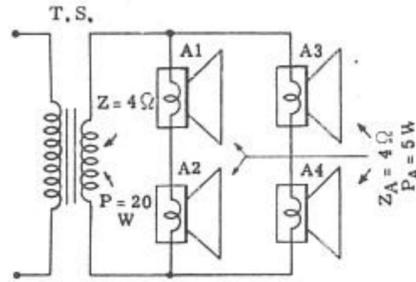


Fig. 4 - Branchement mixte (série - parallèle) de haut-parleurs identiques.

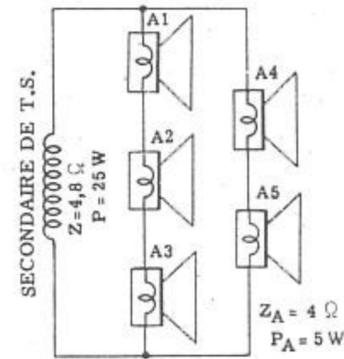


Fig. 5 - Connexion série - parallèle de haut-parleurs identiques, qui donne lieu à une distribution incorrecte de la puissance.

teur de sortie n'est pas prévu pour ces deux valeurs d'impédance: la première est trop élevée et la seconde est trop basse. En ce qui concerne la puissance, elle est proportionnelle soit à la tension aux bornes de chaque haut-parleur, soit à l'impédance des bobines mobiles. Etant donné que les haut-parleurs sont tous identiques, la puissance se distribuera d'une manière uniforme; si l'on applique à la ligne 20 watts, ceux-ci se distribuent d'une manière uniforme entre les quatre haut-parleurs; 5 watts pour chacun d'eux.

Considérons maintenant la ligne des haut-parleurs de la figure 5. Les haut-parleurs A1, A2, A3 sont en série et ils représentent par suite une impédance de 12 ohms. Pour la même raison, l'impédance représentée par les haut-parleurs A4 et A5 est de 8 ohms. Ces deux impédances sont en parallèle entre elles et on obtient, en définitive, le résultat suivant:

$$Z = \frac{12 \times 8}{12 + 8} = 4,8 \text{ ohms}$$

Supposons que l'on branche la ligne considérée sur la prise 4,8 ohms du secondaire d'un transformateur de sortie capable de fournir au système une puissance de 25 watts. Puisque la puissance de travail de chaque haut-parleur est de 5 watts, on pourrait penser que les 25 watts se distribuent d'une manière équivalente, et, de là, que le circuit est correct. Mais, comme nous le verrons, cela est bien loin de la réalité. La tension présente aux bornes du premier groupe de haut-parleurs (A1, A2 et A3) est égale à celle qui existe aux bornes du second groupe (A4 et A5) puisque les dits groupes sont disposés en parallèle.

Si nous considérons que le premier groupe est constitué de trois haut-parleurs et le second de deux, il est aisé de comprendre que la tension aux bornes des haut-parleurs A1, A2 et A3 est inférieure à celle existant aux bornes des haut-parleurs A4 et A5; elle est égale aux 2/3 de celle-ci. Etant donné que les impédances de tous les haut-parleurs sont égales, il s'ensuit que la puissance de chaque haut-parleur du premier groupe est égale aux 4/9 de celle des haut-parleurs du second groupe. Par suite, la distribution de puissance qu'on obtient n'est pas uniforme et les haut-parleurs A4 et A5, étant surchargés, pourraient se détériorer.

#### Haut-parleurs de caractéristiques différentes

Supposons que les haut-parleurs de la ligne soient différents tant pour leur impédance que pour leur puissance de travail, et considérons à nouveau les trois cas fondamentaux du paragraphe précédent.

1) **Branchement en parallèle.** - L'impédance totale d'une ligne de haut-parleurs différents, disposés en

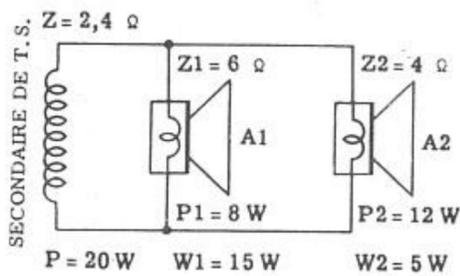


Fig. 6-A - Exemple de branchement de haut-parleurs, de caractéristiques différentes, qui donne lieu à une répartition incorrecte de la puissance.

parallèle, est calculée au moyen de la formule des résistances en parallèle:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots$$

En ce qui concerne la puissance, elle est donnée par l'expression:  $P = U^2 : Z$

valable pour tout haut-parleur. Dans celle-ci, P est la puissance, U est la tension aux bornes du haut-parleur et Z est l'impédance de ce dernier. Etant donné que U, et par suite  $U^2$ , est égale pour tous les haut-parleurs et que ceux-ci sont disposés en parallèle, il en résulte que la puissance reçue par chaque haut-parleur est inversement proportionnelle à son impédance.

Ce qui précède montre que tous les branchements en parallèle ne sont pas possibles. En fait, il faut, afin de disposer plusieurs haut-parleurs en parallèle, que la puissance de travail pour laquelle ils ont été construits soit inversement proportionnelle à leur impédance. Un exemple de circuit est indiqué par la figure 6-A. Les haut-parleurs reliés en parallèle ont les caractéristiques suivantes: A1, d'une puissance de 15 watts, a une impédance  $Z_1 = 6$  ohms et A2, d'une puissance de 5 watts, a une impédance  $Z_2 = 4$  ohms. La prise sur le secondaire du transformateur de sortie est déterminée de la façon suivante:

$$Z = \frac{4 \times 6}{4 + 6} = 2,4 \text{ ohms}$$

La puissance que les deux haut-parleurs sont capables de transformer, ensemble, en énergie acoustique, est égale à 20 watts. Voyons maintenant si, en appliquant 20 watts à l'entrée de la ligne, ceux-ci se répartissent correctement, c'est-à-dire: 15 watts sur A1 et 5 watts sur A2. Comme nous l'avons déjà dit, les puissances se répartissent sur chaque haut-parleur, de manière inversement proportionnelle aux impédances relatives.

On a, par suite:  $P_1 : P_2 = Z_2 : Z_1$

Et en remplaçant les valeurs  $Z_1 = 6$  et  $Z_2 = 4$ :

$$P_1 : P_2 = 2 : 3$$

Pour calculer les valeurs effectives de  $P_1$  et  $P_2$ , il faut considérer aussi l'équation qui exprime la somme des deux puissances:  $P_1 + P_2 = 20$  watts

De cette équation on déduit que  $P_2 = 20 - P_1$ , et en remplaçant cette valeur de  $P_2$  dans l'expression précédente, on a:

$$\frac{P_1}{20 - P_1} = \frac{2}{3} \quad \text{c'est-à-dire } 3P_1 = 40 - 2P_1$$

La résolution de cette équation est assez facile, et elle nous donne la puissance relative au haut-parleur A1:  $3P_1 + 2P_1 = 40$ ;  $5P_1 = 40$ ;  $P_1 = 40/5 = 8$  W

La puissance relative au haut-parleur A2 est:

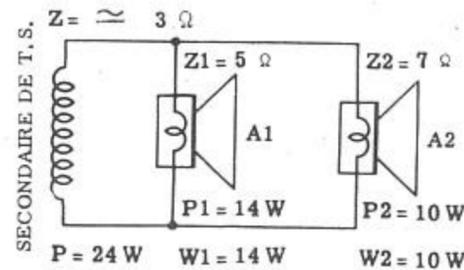


Fig. 6-B - Un choix convenable des impédances des différents haut-parleurs permet, comme dans cet exemple, une répartition correcte de la puissance.

$$P_2 = 20 - P_1 = 20 - 8 = 12 \text{ watts}$$

Comme on le voit, les puissances se répartissent de manière tout à fait incorrecte, parce que le haut-parleur de 5 watts reçoit en réalité 12 watts tandis que celui de 15 watts n'en reçoit que 8. Supposons maintenant que les puissances de travail des haut-parleurs soient, effectivement, inversement proportionnelles à leurs impédances, à savoir:  $P_1 : P_2 = Z_2 : Z_1$

Cette condition est réalisée, si on choisit, par exemple, le haut-parleur A1 de 14 watts 5 ohms et A2 de 10 watts 7 ohms (figure 6-B). On a en effet:

$$14 : 10 = 7 : 5$$

Appliquons maintenant ce groupement à une sortie d'environ 3 ohms qui puisse fournir une puissance de 24 watts et calculons la répartition d'une telle puissance. Les équations dont on doit tenir compte sont les suivantes:

$$P_1 : P_2 = Z_2 : Z_1 = 7 : 5 \text{ et } P_1 + P_2 = 24$$

Le calcul identique au précédent montre que les puissances  $P_1$  et  $P_2$  appliquées, correspondent effectivement aux puissances de travail. On peut en effet, vérifier que  $P_1 = 14$  watts et  $P_2 = 10$  watts.

2) **Branchement en série.** - L'impédance totale d'une ligne de haut-parleurs différents et disposés en série, s'obtient facilement en additionnant toutes les impédances. On a alors:  $Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots$

La puissance se répartit dans chacun des haut-parleurs selon l'expression:  $P = U^2 : Z$

où P est la puissance appliquée au haut-parleur, Z son impédance et U la tension présente à ses bornes. Bien que cette formule soit identique à celle du cas précédent, son interprétation est assez différente. En effet, cette fois il s'agit d'une disposition en série et, par conséquent, la tension U n'est pas constante, mais elle varie pour chaque haut-parleur, proportionnellement à l'impédance Z. En conséquence, le numérateur  $U^2$  de la formule précédente est proportionnel à  $Z^2$  tandis que la puissance P est proportionnelle à Z.

Il faut toujours avoir présent à l'esprit, le principe suivant: dans le groupement en série, la puissance reçue par chaque haut-parleur, est directement proportionnelle à l'impédance de la bobine mobile du haut-parleur considéré.

La figure 7-A représente deux haut-parleurs disposés en série: A1 de 4 watts - 3 ohms et A2 de 6 watts - 2 ohms. Evidemment, ils doivent être branchés à un secondaire qui présente une impédance de 5 ohms et la puissance totale nécessaire doit être de  $6 + 4 = 10$  watts. Voyons maintenant si cette puissance se répartit exactement entre les deux haut-parleurs. La puissance relative à chaque haut-parleur est, comme nous avons déjà dit, proportionnelle à l'impédance du haut-parleur lui-même, on a donc l'expression:

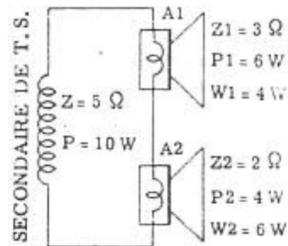


Fig. 7-A - Les valeurs incorrectes d'impédance donnent une répartition incorrecte de la puissance.

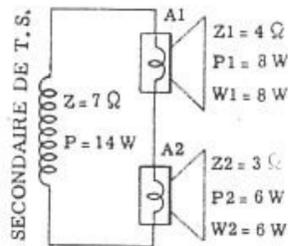


Fig. 7-B - Si chaque haut-parleur possède l'impédance voulue, la puissance se répartit correctement entre les deux charges.

$P_1 : P_2 = Z_1 : Z_2$ , dans notre exemple:  $P_1 : P_2 = 3 : 2$

A cette dernière on doit ajouter l'équation qui exprime la puissance totale:  $P_1 + P_2 = 10$  watts

Ces deux équations, résolues au moyen de la méthode classique, donnent comme résultats:  $P_1 = 6$  watts et  $P_2 = 4$  W; ce qui, comme on le voit, ne coïncide pas avec la répartition exacte qui prévoit 4 W sur A1 et 6 W sur A2.

Un exemple de répartition exacte est représenté par la figure 7-B, où on peut noter deux haut-parleurs disposés en série: A1 de 8 watts - 4 Ω et A2 de 6 watts - 3 Ω. Dans ce cas la proportionnalité directe entre la puissance et l'impédance est réalisée:

$$8 : 6 = 4 : 3$$

Nous laissons au lecteur le soin de vérifier que la puissance se répartit correctement en branchant la ligne de haut-parleurs que nous venons de considérer à la sortie d'un amplificateur de 14 watts. Pour faire cette vérification, il suffit de poser et de résoudre les deux équations que nous connaissons.

**3 - Branchement série-parallèle.** Dans ce cas, la résolution n'est pas toujours immédiate, comme dans les cas précédents. De toute façon, l'impédance totale de la ligne est calculée en considérant les impédances des haut-parleurs comme s'ils étaient de simples résistances, disposées dans un circuit série-parallèle. Par exemple, dans le cas représenté par la figure 8, on additionne tout d'abord les impédances des deux branches séries et on calcule la résultante de ces impédances

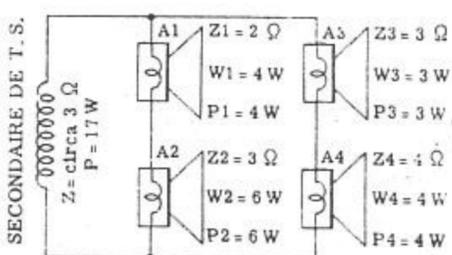


Fig. 8 - Cas de disposition série-parallèle de haut-parleurs de caractéristiques différentes; la solution est un peu plus difficile que les précédentes, mais de toute façon toujours simple.

qui sont disposées en parallèle entre elles. La branche constituée de A1 et A2 possède une impédance de  $2 + 3 = 5$  ohms tandis que l'autre possède une impédance de  $3 + 4 = 7$  ohms. On calcule l'impédance totale (formule des résistances en parallèle):

$$\frac{5 \times 7}{5 + 7} = \frac{35}{12} \text{ c'est-à-dire, à peu près } 3 \text{ ohms}$$

Le calcul de la répartition de la puissance est moins simple et il n'existe pas un règle générale qui puisse convenir. Il faut, selon les cas, subdiviser la ligne en branches séries et parallèles, et ensuite, appliquer les

raisonnement précédents. Un exemple de répartition presque correcte des puissances rendra plus clair le procédé. Considérons encore une fois les haut-parleurs de la figure 8, et notons que leurs puissances sont:  $P_1 = 4$  watts,  $P_3 = 3$  watts et  $P_4 = 4$  watts. La puissance totale se monte à  $4 + 6 + 3 + 4 = 17$  watts.

Considérons séparément les deux branches constituées de A1 et A2 et de A3 et A4. Elles sont en parallèle entre elles et leurs puissances totales sont, par conséquent, inversement proportionnelles aux impédances totales qui sont de 5 ohms pour la première branche et de 7 ohms pour la seconde. Pour calculer les puissances totales effectives qui se rapportent à chaque branche, il suffit de résoudre les deux équations:

$$P_1 : P_2 = 7 : 5 \text{ et } P_1 + P_2 = 17$$

où  $P_1$  et  $P_2$  représentent, respectivement, les puissances totales de la première et de la seconde branches. En effectuant les calculs nécessaires on trouve que  $P_1$  est à peu près égale à 10 et  $P_2$  à 7. Il est maintenant aisé de calculer la répartition des 10 watts entre les haut-parleurs A1 et A2 et des 7 watts entre les haut-parleurs A3 et A4. En effet, à l'intérieur de chaque branche, les deux haut-parleurs relatifs sont disposés en série entre eux, et il suffit donc d'appliquer la méthode de calcul considérée dans le cas des haut-parleurs en série. Pour la première branche on a:

$$P_1 : P_2 = 2 : 3 \text{ et } P_1 + P_2 = 10 \text{ watts}$$

En résolvant ces équations on trouve  $P_1 = 4$  watts et  $P_2 = 6$  watts; ce qui coïncide avec les puissances requises par les haut-parleurs. D'une manière analogue, en résolvant les équations relatives à la seconde branche:  $P_3 : P_4 = 3 : 4$  et  $P_3 + P_4 = 7$  watts

on obtient  $P_3: 3$  watts et  $P_4: 4$  watts. Ces puissances aussi correspondent à celles de travail des haut-parleurs. Il faut savoir que lors de la résolution de problèmes semblables, il est toujours possible de faire de petites approximations — propres à simplifier les calculs — qui ne changent rien au résultat final. De plus il est possible d'utiliser des haut-parleurs dont la puissance de travail est différente, dans des limites étroites, de celle qu'on applique effectivement.

## CALCUL des DISTRIBUTIONS à MOYENNE IMPEDANCE

Nous avons déjà traité le principe de fonctionnement des distributions à moyenne impédance. Voyons maintenant quand leur emploi est nécessaire et pour quelles raisons. A ce propos, considérons le circuit simple de la figure 9. Nous y avons représenté par la résistance totale R des liaisons qui font partie de la ligne, et l'impédance totale Z des haut-parleurs dont on se sert pour la transformation de la puissance électrique appliquée, en énergie sonore.

Comme on peut le vérifier facilement, il faut que la valeur de R soit, autant que possible, petite par rapport à celle de Z. En effet, la résistance R des liaisons doit toujours être considérée comme étant en série avec la ligne et, par conséquent, la puissance qu'elle dissipe, sous forme de chaleur, est directement proportionnelle à sa valeur. L'expression donnant le taux de puissance effectivement transformé en énergie est

**Pillbox antenna** — Antenne pour micro-ondes, composée d'un réflecteur parabolique cylindrique renfermé entre deux lames perpendiculaires au cylindre.

**Pill transformer** — Dispositif, constitué d'une portion de conducteur ayant une longueur d'un quart d'onde, pour l'adaptation d'impédance des lignes de transmission coaxiales.

**Pilotage** — Pilotage.

**Pilot carrier** — Porteuse pilote.

**Pilot cell** — Cellule pilote (d'un accu).

**Pilot channel** — Canal d'onde pilote.

**Pilot circuit** — Circuit pilote.

**Pilot contact** — Contact principal.

**Pilot controller** — Contrôleur de manipulation.

**Pilot indicator** — Indicateur (radar) pilote.

**Pilot lamp** — Lampe de contrôle.

**Piloting** — Pilotage.

**Pilotless aircraft** — Avion sans pilote.

**Pilot light** — Lampe de contrôle.

**Pilot oscillator** — Oscillateur pilote.

**Pilot pulse** — Impulsion pilote.

**Pilot regulator** — Régulateur pilote (voir « Pilot-wire regulator »).

**Pilot relay** — Relais pilote.

**Pilot spark** — Etincelle pilote (elle ionise l'air dans un tube à gaz, en présence de la décharge principale).

**Pilot switch** — Interrupteur pilote.

**Pilot-to-forecaster service** — Service radio direct entre le pilote d'un avion et la personne chargée des prévisions météorologiques.

**Pilot transformer** — Transformateur pilote.

**Pilot wave** — Onde pilote (onde du signal, normalement à fréquence unique, transmise dans un but de contrôle).

**Pilot wire** — Fil pilote.

**Pilot-wire regulator** — Régulateur à fil pilote (dispositif automatique pour contrôler le gain dans des circuits de transmission, pour compenser d'éventuelles variations dues à la température).

**Pin** — Abréviation de « Power input » (Puissance consommée dans le circuit anodique d'un tube).

**Pin** — Broche (du support d'un tube).

**Pinch** — Partie inférieure de l'ampoule en verre d'un tube, qui fait office de support des conducteurs des électrodes.

**Pinch effect** — Effet de contraction.

**Pinching** — Blocage (d'un tube électronique).

**Pinch-off** — Interdiction du courant de collecteur dans un transistor à effet de champ.

**Pinch-off voltage** — Tension de couche du courant de collecteur dans un transistor à effet de champ.

**Pin connections** — Liaisons des broches (d'un tube).

**Pine-tree array** — Réseau de dipôles horizontaux avec réflecteurs.

**Pine-tree line** — Rideau d'antennes directionnelles.

**Pi network** — Réseau à « pi grecque » ( $\pi$ ).

**Ping** — Impulsion (sonique ou ultrasonique) émise par un « sonar ».

**Ping-pong effect** — Effet « ping-pong » Effet stéréophonique où tout le son semble provenir de l'un ou de l'autre des

deux haut-parleurs, tandis qu'au centre il y est totalement absent.

**Pinhole camera** — Appareil photographique employé pour contrôler les dimensions du « spot » d'un tube à rayons X.

**Pinhole detector** — Dispositif photoélectrique pour déceler des trous extrêmement petits et autres défauts sur les feuilles d'un matériau métallique sur une chaîne de contrôle.

**Pin jack** — Jack auquel est relié un contact à fiche.

**Pin plug** — Contact à fiche.

**Pion** — Méson pi ( $\pi$ ).

**Pip** — Pip, dent, jet, top d'écho (point lumineux sur l'écran d'un tube à rayons cathodiques).

**Piped program** — Diffusion téléphonée.

**Pipe resonator** — Résonateur à tube.

**Pipe ventilated motor** — Moteur ventilé par un tuyau d'aération.

**Pip-matching display** — Présentation du signal reçu, sur un écran « radar », sous forme de deux « pip ».

**Pipology** — L'étude et l'interprétation des échos sur les écrans « radar ».

**Piston** — Piston (de guide d'ondes).

**Piston action** — Action du piston (le mouvement du diaphragme d'un haut-parleur aux fréquences basses).

**Piston attenuator** — Atténuateur à piston (dans un guide d'ondes).

**Pistonphone** — Chambre d'essai où il est possible d'établir une pression sonore déterminée.

**Pitch** — Timbre, élévation d'un son.

**Pitchball** — Boule de liège.

**Pitchball electroscope** — Electroscopie à boule de liège.

**Pitchblende** — Minéral riche en uranium (pechblende).

**Pitch filter** — Filtre de tonalité.

**Pitch of a sound wave** — Hauteur d'une onde sonore.

**Pitch of poles** — La distance entre le centre d'un pôle déterminé et le centre du pôle de signe opposé (dans un générateur ou un moteur).

**Pitch of turn** — Allure des spires (d'une bobine).

**Pivot jaw** — Contact fixe d'un interrupteur à couteau.

**Pix** — Type d'atténuateur fixe.

**PL** — Abréviation de « Pilot lamp » (lampe de contrôle). Désignation ITU pour « Radio positioning land station » (Station fixe de radiolocalisation).

**Plain-aerial transmitter** — Emetteur à couplage direct d'antenne.

**Plan** — Schéma, projet.

**Plan (to)** — Projeter.

**Planar diode** — Diode planaire (diode ayant les électrodes disposées en plans parallèles).

**Planar-electrode tube** — Tube à électrodes planaires parallèles.

**Planar network** — Réseau planaire.

**Planck's constant** — Constante de Planck.

**Plane** — Surface plane avion.

**Plane earth** — La Terre considérée comme une surface plane.

**Plane-earth attenuation** — Voir « Plane-earth factor ».

**Plane-earth factor** — Rapport entre l'intensité d'un champ électrique provenant d'une onde électromagnétique sur une surface terrestre plane qui conduit parfaitement et celle d'un champ résultant de la propagation sur une surface terrestre plane parfaitement conductrice.

**Plane language** — Langage clair, intelligible.

**Plane of a loop** — Plan (imaginaire) qui passe par le centre d'une antenne à châssis et parallèle aux conducteurs du châssis.

**Plane of polarization** — Plan de polarisation.

**Plane-polarized light** — Lumière polarisée dans un plan, dont le vecteur électrique se trouve toujours dans le plan fixe résultant parallèle avec la direction de propagation.

**Planet** — Planète.

**Planetary probe** — Fusée sonde lancée dans l'espace.

**Plane wave** — Onde plane.

**Planimeter** — Planimètre.

**Planimetric map** — Carte planimétrique.

**Planning** — Projet.

**Plan position indicator** — Indicateur panoramique (indicateur « radar » où le signal apparaît comme un point lumineux, fort analogue à une carte circulaire de la zone explorée; l'antenne de « radar » se trouvant au centre de l'écran indique la distance de la cible, et l'angle radial en indique la direction par rapport à une ligne de foi).

**Plan repeater indicator** — Indicateur « radar » relié en parallèle avec un « radar » primaire.

**Plant** — Installation.

**Plasma** — Plasma (un gaz ou corps chargé électriquement. Il contient un nombre approximativement égal d'électrons et d'ions positifs).

**Plasma engine** — Moteur à plasma (pour les vols spatiaux).

**Plasma generator** — Machine qui engendre des flux considérables de chaleur pour convertir le deutéron ou autre gaz en plasma.

**Plasmatron** — Plasmatron (tube à gaz où le plasma sert comme un moyen de conduction).

**Plamoid** — Région lumineuse qui apparaît sous plusieurs formes dans des tubes très vieillis par l'excitation de fréquences très élevées.

**Plastic** — Plastique.

**Plastic magnetic recording medium** — Moyen pour l'enregistrement magnétique qui contient une dispersion de particules magnétisables sur un support, plastique.

**Plastic magnetic tape** — Ruban magnétique en matière plastique.

**Platisol** — Un mélange à base de résine et de matières plastiques.

**Plate** — Plaque électrode (d'un condensateur ou accu). Plaque ou anode (d'un tube électronique).

**Plateau** — La partie de la caractéristique d'un tube compteur où la vitesse de compte est pratiquement indépendante de la tension appliquée, partie horizontale d'un diagramme.

**Plate battery** — Batterie anodique.

**Plate bypass capacitor** — Condensateur placé entre l'anode et la masse dans le but de filtrer les courants Haute Fréquence.

**Plate capacitance** — Capacité totale de plaque.

**Plate-cathode capacitance** — Capacité anode-cathode.

**Plate characteristic** — Caractéristique anodique (allure du courant anodique en fonction de la tension anodique).

**Plate circuit** — Circuit anodique (le circuit extérieur placé entre l'anode et la cathode d'un tube électronique).

**Plate circuit detection** — Détection dans le circuit anodique grâce à une non linéarité de la caractéristique anodique).

**Plate circuit efficiency** — Rendement du circuit anodique.

**Plate circuit modulation** — Modulation du circuit anodique.

**Plate circuit resistance** — Résistance du circuit anodique.

**Plate conductance** — Conductance anodique intérieure.

**Plate coupling resistor** — Résistance de couplage anodique.

**Plate current** — Courant anodique.

**Plate current cut-off** — Interdiction du courant anodique.

**Plated circuit** — Circuit imprimé obtenu par dépôt électrolytique d'un dessin conducteur sur un support isolant.

**Plated crystal unit** — Élément à cristal où les électrodes sont constituées de couches de métal déposées directement sur les surfaces du quartz.

**Plate decoupling resistor** — Résistance de découplage du circuit anodique.

**Plate detection** — Détection anodique.

**Plate detector** — Détecteur anodique.

**Plate dissipation** — Dissipation anodique (la puissance en watts consommée par l'anode sous forme de chaleur).

**Plate efficiency** — Rendement anodique.

**Plate hot-wire ammeter** — Ampèremètre à fil de platine qui mesure le courant anodique.

**Plated magnetic disk** — Disque magnétique plaqué.

**Plated printed circuit** — Voir « Plated circuit ».

**Plate grip** — Cosse pour plaque.

**Plate impedance** — Impédance anodique - impédance interne totale entre l'anode et la cathode).

**Plate input power** — Puissance anodique d'alimentation (la puissance fournie l'anode d'un tube par la source d'alimentation).

**Plate load resistance** — Résistance de charge de plaque, ou résistance anodique.

**Plate modulation** — Modulation anodique ou de plaque (modulation obtenue en appliquant la tension de modulation à la plaque. La tension c.a. anode-cathode est déphasée de 180° et appliquée au circuit grille-cathode à travers un condensateur de neutralisation).

**Plate of an accumulator** — Plaque d'un accu.

**Plate potential** — Potentiel de plaque ou anodique.

**Plate power input** — Puissance anodique d'alimentation.

**Plate power supply** — Alimentation anodique.

**Plate pulse modulation** — Modulation anodique par impulsions. Voir « plate pulsing ».

**Plate pulsing** — Oscillateur HF dans lequel la tension anodique est très réduite ou totalement supprimée, de telle sorte, qu'il n'y a aucun courant plaque donc aucune oscillation. Si on applique une impulsion de tension sur la plaque suffisante pour amorcer les oscillations celles-ci commencent et s'achèvent en synchronisme avec l'impulsion.

**Plate rectification** — Détection de plaque.

**Plate resistance** — Résistance de plaque ou anodique (la résistance intérieure au flux de courant alternatif entre la cathode et la plaque d'un tube).

**Plate saturation** — Saturation du courant anodique.

**Plate signal** — Signal de plaque.

**Plate supply** — Alimentation anodique.

**Plate support** — Support des plaques (d'un accu).

**Plate tank circuit** — Circuit accordé anodique.

**Plate terminal** — Borne d'anode, borne de plaque.

**Plate-to-plate impedance** — Impédance de charge mesurée entre les deux plaques d'un étage amplificateur « push-pull ».

**Plate voltage** — Tension anodique.

**Platform stabilization** — Stabilisation de la plate-forme sur laquelle repose l'antenne « radar » à bord d'un véhicule, de façon à la maintenir toujours dans une position horizontale.

**Plating dynamo** — Générateur qui fournit un courant continu de fort ampérage, utilisé en galvanotechnique.

**Platinite** — Alliage à base de nickel et fer qui contient environ 46% de nickel et ayant un coefficient d'expansion presque égal à celui du platine. On l'utilise pour les conducteurs intérieurs de tubes électroniques.

**Platinotron** — Tube pour engendrer et amplifier des micro-ondes.

**Platinum** — Platine (métal blanc capable de résister à l'action de tous les acides, et capable de supporter des températures très élevées).

**Platinum contacts** — Contacts de platine.

**Platinum fuse** — Fusible en platine.

**Platinum lamp** — Tube à filament en platine.

**Platnoid** — Alliage ayant une résistance élevée électrique, constitué de 60% de cuivre, de 24% de zin, de 14% de nickel et de 2% de tungstène. On l'emploie pour la fabrication de résistances et de thermocouples.

**Platter** — Disque phonographique.

**Playback** — Reproduction d'un enregistrement.

**Playback head** — Tête de reproduction ou de lecture (d'un pick-up ou d'un enregistreur magnétique).

**Playback loss** — Perte de reproduction (la différence entre l'amplitude de mouvement d'une aiguille et celle enregistrée sur un disque phonographique).

**Playback reproducer** — Pick-up.

**PLC** — Abréviation de « Power-line carrier ».

**Plethysmograph** — Instrument pour mesurer des variations de la quantité de sang qui circule dans une partie du corps humain.

**Plotron** — Terme général pour n'importe quel tube électronique à cathode chaude à une ou plusieurs grilles).

**Plo** — Abréviation de « Phase-locked oscillator ».

**Plot** — Représentation visuelle sur un panneau topographique, de la localisation dans l'espace aérien d'un véhicule aérien: diagramme.

**Plotting** — tracé.

**Plotting board** — Un panneau sur lequel on indique les mouvements d'un ou plusieurs objets, vis-à-vis de coordonnées déterminées ou d'objets fixes.

**Plotting interval** — Intervalle de tracé.

**Plotting plate** — Plan de tracé.

**Plug** — Fiche; bougie avis commercial inséré dans un programme radio ou TV; matériau d'arrêt des radiations, employé pour fermer une ouverture éventuelle produite dans l'écran d'un réacteur nucléaire.

**Plug adaptor** — Prise de courant.

**Plug and socket insulator** — Isolateur mâle et femelle.

**Plugboard** — Panneau déplaçable d'un calculateur, contenant une certaine combinaison de bornes interchangeables, sur lequel il est possible de fixer un programme sans interférer dans le fonctionnement de la machine. Le programme de la machine peut être rapidement changé en substituant un panneau avec un autre.

**Plug commutator** — Commutateur à fiche.

**Plug connection** — Raccord de bougie.

**Plugging** — Freinage d'un moteur électrique au moyen d'inversion des liaisons, de sorte qu'il tend à tourner en sens opposé. Lorsque le moteur s'arrête, le circuit s'ouvre automatiquement, empêchant ainsi au moteur d'inverser réellement son propre sens de rotation.

**Plug-in** — L'acte de relier un appareillage dans un circuit électrique moyennant le branchement d'une fiche dans une prise; terme appliqué à un composant quelconque que l'on insère dans un support ou connecteur.

**Plug in (to)** — Insérer.

**Plug-in coil** — Bobine interchangeable (bobine enroulée sur un support muni d'un socle similaire à celui d'un tube).

**Plug-in device** — Dispositif interchangeable (toutes les liaisons peuvent être réalisées simultanément en insérant le dispositif dans un support spécial).

**Plug-in resistor** — Résistance interchangeable.

**Plug-operated rheostat** — Rhéostat à fiche.

**Plug switch** — Interrupteur à fiche.

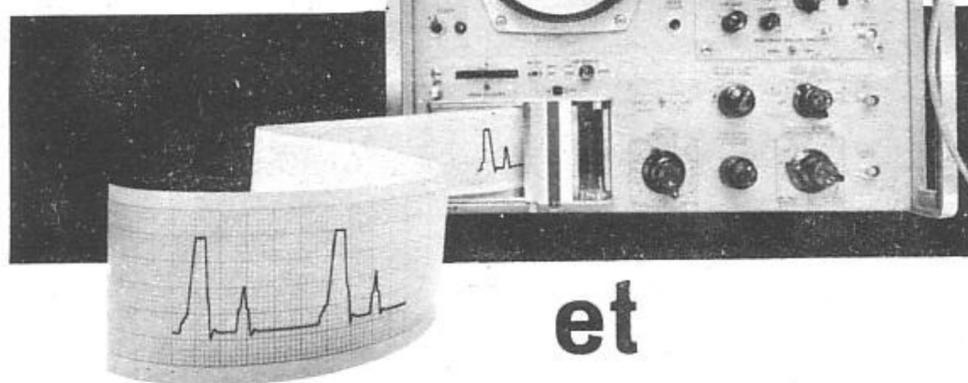
**Plumbing** — Terme employé pour désigner des lignes coaxiales rigides ou bien des guides d'ondes et l'équipement accessoire d'appareillage pour micro-ondes.

**Plume** — Echo (radar) artificiel en forme de plume.

**Plunge battery** — Accu où les électrodes peuvent être soulevées ou abaissées dans l'électrolyte.



# Mesurer



et

# enregistrer

Mesurer et enregistrer sont deux des nombreuses opérations sans lesquelles le progrès et la recherche dans presque tous les domaines de la science et de la technique seraient impossibles. De même, la solution de beaucoup de problèmes de fabrication et de contrôle et surtout de l'automatisation, repose sur la mesure et l'enregistrement. Plus une installation ou un système d'essai sont grands et compliqués, plus les diverses valeurs qui doivent être surveillées et contrôlées au moyen des techniques de mesure deviennent nombreuses. Le plus souvent, l'intérêt se porte aussi sur l'évolution chronologique de ces grandeurs, afin que l'on puisse tirer de cette évolution des conclusions quant au déroulement général du procédé ou des essais, ou bien des renseignements sur une intervention nécessaire. Mais il est aussi nécessaire, souvent, de relever dans un temps absolument le même des grandeurs de mesure se déterminant ou s'influençant réciproquement, ou bien de conserver en protocole des données techniques. Cela veut dire que l'évolution de ces grandeurs doit être enregistrée avec des appareils appropriés.

Une partie de ces instruments enregistreurs assume alors des fonctions pour lesquelles de nombreux observateurs humains seraient nécessaires pour surveiller continuellement les instruments indicateurs et noter les valeurs mesurées, particulièrement dans les opérations à évolution lente.

L'autre partie des appareils à enregistrer a une capacité bien supérieure à celle de l'homme, car on peut relever avec leur aide le déroulement de phénomènes ou d'opérations dont la vitesse de variation est si grande qu'elle dépasse les facultés d'observation de l'homme. Ces appareils sont indispensables partout où l'on examine des processus à hautes fréquences, car ceux-ci reste-

raient inconnus s'ils n'étaient pas enregistrés.

Citons d'abord les scripteurs électriques qui peuvent remplacer les instruments indicateurs. La valeur mesurée y est portée à l'encre sur un papier qui se déplace continuellement ou bien par une électrode-stylet sur du papier métallique, et cela de telle façon que l'aiguille munie de l'organe scripteur soit continuellement en contact avec le papier, ce qui inscrit une courbe sur le papier (enregistrement par ligne), ou bien de façon que l'aiguille ne soit appuyée que périodiquement sur un ruban encre tendu au-dessus du papier, ce qui produit une courbe formée de points rapprochés les uns des autres (enregistrement par pointillage). Les deux modèles peuvent enregistrer plusieurs opérations de mesure les unes à côté des autres sur une bande de diagramme. Dans le cas de l'enregistreur par pointillage, les valeurs à mesurer sont reçues les unes après les autres par le même organe de mesure et chaque courbe est imprimée en une couleur différente, de sorte que, d'une part, toute la largeur de la bande est disponible pour chaque opération et que, d'autre part, les courbes qui se croisent se distinguent facilement. Dans l'enregistreur par ligne, cependant, chaque opération de mesure doit être assumée par un organe de mesure séparé et son enregistrement est limité à une certaine largeur de la bande, à moins que l'appareil ne travaille avec des stylets pouvant s'entrecroiser.

Dans beaucoup d'opérations de la technique thermique et de la technique des procédés, la précision et les temps de réglage des enregistreurs par ligne ou par points ne suffisent pas. En pareils cas, on emploie des enregistreurs à compensation qui permettent de relever plusieurs opérations simultanément.

L'organe scripteur y est conduit par un fort moteur commandé par la différence entre la tension de compensation et la tension de mesure. On obtient ainsi un enregistrement qui ne sollicite pas la source de courant de mesure et qui permet de relever des grandeurs mesurées même très petites sur une échelle longue.

Parmi les appareils enregistreurs, on compte encore les oscillographes avec lesquels on peut relever aussi les processus de fréquences plus hautes. La valeur mesurée n'y est plus inscrite par un levier scripteur mécanique, mais par un jet de liquide ou par des rayons lumineux ou électroniques.

Les oscillographes à rayon lumineux permettent l'enregistrement de processus d'un maximum de 15 000 Hz. Les nombreux appareils existants, depuis les petits oscillographes portables à deux canaux de mesure jusqu'aux grandes stations universelles de mesure ayant jusqu'à 50 canaux de mesure, sont pour la plupart équipés aussi bien pour l'écriture directe par rayons ultra-violet sur papier spécial que pour le relevé des mesures sur papier photographique que l'on développe ensuite en chambre noire ou dans un appareil automatique rapide à développer. Depuis quelques temps, les appareils à grand rendement peuvent aussi enregistrer des oscillogrammes en couleurs.

L'enregistrement par rayon électronique permet les plus grandes vitesses d'enregistrement; il fonctionne avec un tube de Braun comme ceux de la télévision. Ce tube contient des éléments produisant et dirigeant le rayon électronique. L'intérieur du tube est pourvu d'un écran que le rayon scripteur frappe en y laissant une trace persistante. Cette trace peut être photographiée de l'extérieur pour l'enregistrement.

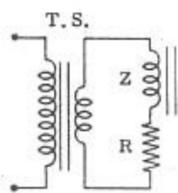


Fig. 9 - Z représente l'impédance totale et R la résistance totale de la ligne de haut-parleurs: ces éléments sont nécessaires pour notre calcul.

$$100 \times \frac{Z}{R + Z}$$

En effet, le numérateur est proportionnel à la puissance transformée, tandis que le dénominateur est proportionnel à la puissance appliquée (donnée par la somme de la puissance transformée en énergie sonore et de celle dissipée sous forme de chaleur).

Z étant constante et déterminée par le type et par la disposition des haut-parleurs, le rendement est maximum lorsque R est très petite par rapport à Z, comme nous le verrons dans les deux exemples suivants.

Supposons que les liaisons aux haut-parleurs, très courtes, introduisent une résistance R en série de 0,1 ohm seulement et que l'impédance d'utilisation soit de 5 ohms; l'expression du rendement est alors:

$$100 \times \frac{5}{0,1 + 5} = 98\% \text{ environ}$$

On a donc un rendement plus que satisfaisant. Mais si les haut-parleurs doivent être répartis en divers endroits d'un local de grandes dimensions (salle de cinéma, salle de danse, etc.) ou dans une vaste zone en plein air, les fils de liaison sont assez longs et la résistance augmente en proportion. Considérons, à titre d'exemple, une ligne dont la résistance R est de 10 ohms et l'impédance d'utilisation, de 5 ohms.

Le rendement descend alors à une valeur très basse :

$$100 \times \frac{5}{10 + 5} = 33\% \text{ environ}$$

En utilisant, au contraire, une ligne à moyenne impédance, par exemple de 500 ohms, tandis que R est de 10 ohms, Z monte justement à 500 ohms et par suite le rendement devient:

$$100 \times \frac{500}{10 + 500} = 98\% \text{ environ}$$

donc, on revient à une valeur optimum. En général, une ligne de haut-parleurs est bonne lorsqu'elle offre un rendement d'au moins 85%.

Pour le calcul de l'impédance totale et de la distribution de puissance, on suit le même procédé exposé dans le cas de la liaison à basse impédance. Mais, dans ce cas, on a un autre élément variable: le transformateur d'entrée de chacun des haut-parleurs. Il devient donc possible, à condition de calculer le rapport de transformation de ces transformateurs, d'obtenir des distributions de puissance correcte entre tous les haut-parleurs, même dans les cas où cela n'est pas possible au moyen de lignes à basse impédance. Nous n'entrerons pas dans les détails, en ce qui concerne le

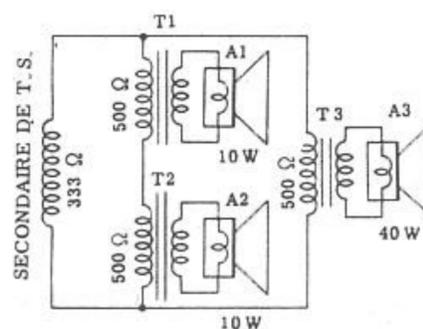


Fig. 10 - Ligne de moyenne impédance avec trois haut-parleurs munis de transformateurs à impédance primaire de 500 ohms: l'impédance de la ligne doit être de 333 Ω.

calcul proprement dit des lignes de moyenne impédance, nous nous bornerons à considérer un exemple particulièrement significatif, illustré par la figure 10.

Il s'agit d'une ligne à moyenne impédance pourvue de trois haut-parleurs dont A1 et A2 de puissance égale à 10 watts, et A3 de puissance égale à 40 watts. Les transformateurs d'entrée ont tous une impédance primaire de 500 ohms et une impédance secondaire adaptée à la bobine mobile du haut-parleur correspondant. Dans le cas des lignes à moyenne impédance, l'impédance de la bobine mobile de chaque haut-parleur n'a aucune importance, parce que l'adaptation s'obtient aisément avec le seul transformateur d'entrée.

On calcule l'impédance de la ligne en tenant compte que A1 et A2 sont en série et, par suite, présentent une impédance rapportée au primaire des transformateurs d'entrée de 1 000 ohms. Cette impédance est en parallèle avec les 500 ohms de T3 et, par suite, l'impédance totale est:

$$\frac{1\,000 \times 500}{1\,000 + 500} = 333 \text{ ohms environ}$$

La distribution des puissances est calculée au moyen de la méthode classique, en tenant compte, cette fois, des impédances primaires de T1, T2 et T3, au lieu de celles des bobines mobiles. On trouve que les puissances appliquées correspondent exactement à celles de travail. Nous laissons à nos lecteurs le soin de faire le calcul, à titre d'exercice.

### Lignes à impédance constante

Dans les lignes normales à moyenne impédance, on détermine d'abord l'impédance relative aux divers transformateurs d'entrée et, ensuite, on calcule l'impédance totale; on adapte cette dernière au secondaire du transformateur de sortie de l'amplificateur. Les lignes à « impédance constante » sont, au contraire, conçues de sorte que l'impédance du secondaire du transformateur de sortie et, par suite, celle de la ligne, soit prédéterminée. L'impédance qu'on choisit en général est de 500 ohms et, en fonction de celle-ci, on calcule les primaires des transformateurs de chaque haut-parleur, de façon qu'ils présentent une telle impédance.

Les lignes à impédance constante ont un inconvénient: l'impédance primaire des transformateurs d'entrée ne peut être choisie de manière à obtenir une distribution particulière de puissance, puisqu'elle est conditionnée par la valeur d'impédance totale de la ligne. Cette dernière ayant une valeur déterminée.

# — LES FOURNISSEURS DE VOTRE MATERIEL —

## ELECTRONIQUE MONTAGE

111, BD RICHARD LENOIR - PARIS XI<sup>e</sup>  
(métro oberkampf)  
SPÉCIALISTE MODULES RÉUSSITE COMPLÈTE  
TOUS LES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES  
EXPÉDITION PROVINCE

### Amateurs, Installateurs, Dépanneurs,

les valises de dépannage Radio TV Sptés PAUL sont en vente dans toute la France. 5 modèles.

Adresse de nos Agents sur simple demande.

Spécialités Ch. PAUL - 28, rue Raymond Lefebvre  
MONTREUIL (Seine) Tél. : 287-54-16

## CIBOT RADIO

1 à 3, RUE DE REUILLY - PARIS 12<sup>e</sup>  
TEL. : DID. 66-90

TOUT L'OUTILLAGE  
POUR L'ÉLECTRONIQUE

Catalogue complet de pièces détachées : 5 F

Catalogue de Kit

Ensemble de pièces détachées

Du poste à galène au téléviseur

EXPÉDITION A LETTRE LUE PARIS-PROVINCE

## RADIO-BEAUGRENELLE

6, RUE BEAUGRENELLE - PARIS 15<sup>e</sup>

TÉL. : 828.58.30

TOUTE LA PIÈCE DÉTACHÉE RADIO  
LAMPES-TRANSISTORS-TÉLÉVISION  
EXPÉDITION PROVINCE

Envoi du tarif contre 3 timbres-lettre

### MIEUX QU'UN CATALOGUE !

Tous ceux qui s'intéressent à la radio se doivent de posséder

le **MEMENTO ACER**

VÉRITABLE DIGEST DE L'ÉLECTRONIQUE

TOUTES LES PIÈCES DÉTACHÉES

TOUTE UNE GAMME DE MONTAGE EN KIT

Envoi contre 6F pour frais

**ACER** 42bis, rue de Chabrol - PARIS 10<sup>e</sup>



80 PAGES contre 2.50 en timbres pour frais d'envoi

● HIFI (amplis - HP - tuners FM - enceintes acoustiques) ● Grand choix de pièces détachées ● Appareils de mesures ● Outillage ● Appareils électriques ● De nombreuses réalisations ● Sur place : un choix énorme à des prix "champion".

## Comptoirs CHAMPIONNET

14, RUE CHAMPIONNET - PARIS 18<sup>e</sup>

Tél. ORN. 52-08 - C.C.P. 12.358.30 Paris

Métro : Porte de Clignancourt et Simplon

## RETEXKIT

CONSTRUISEZ-LE VOUS-MÊME

**KIT POUR RADIO-AMATEURS**  
**KIT D'APPAREILS ÉLECTRONIQUES**

Demandez notre catalogue  
sans engagement de votre part

**TERA-LEC** 51, RUE DE GERGOVIE  
PARIS-14<sup>e</sup> - SEG. 09-00

## MAGNETIC-FRANCE

SPÉCIALISTE DU "KIT"  
PIÈCES DÉTACHÉES POUR :

Tuners, magnétophones, amplis, orgue électronique, chambre d'échos, réverbérateurs.

- Lampes
- Transistors

SERVICES ET CONSEILS TECHNIQUES

175, RUE DU TEMPLE - PARIS-3<sup>e</sup>  
ARChives 10-74 Métro : Temple, République

## COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

Radio-Télévision • Industrie • Télécommande  
Châssis Haute Fidélité • Amplis • Tuners FM

**RADIO-VOLTAIRE**

GROSSISTE OFFICIEL "COPRIM TRANSCO"

GROSSISTE TUBES INDUSTRIELS "RADIOTECHNIQUE"

155, Avenue Ledru-Rollin, PARIS-11<sup>e</sup> ROQ. 98-64

R.C. 3208 11/11/5425 - Bouteille 1000 Bouteilles - Téléphone : 46 16 41 71 53 - C.P. 8408-71 PARIS

## EMY-RADIO

Spécialiste des grandes marques d'importation

Téléviseurs - Récepteurs - Transistors - Magnétophones  
Elec. phones - HI-FI - Enceintes acoustiques - Emetteurs  
récepteurs - Interphones, etc...

Toutes expéditions en province. Catalogue de nos prix sur  
simple demande - 19, rue de l'Ancienne Comédie  
PARIS 6<sup>e</sup> Tél. : DAN. 63-05

## POUR TOUS VOS BESOINS EN COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES ET ENSEMBLES A MONTER SOI-MÊME

AUX CONDITIONS LES PLUS AVANTAGEUSES GRACE A NOTRE FORMULE DE VENTE DIRECTE

Magasins pilotes :

3, RUE LA BOËTIE - PARIS-8<sup>e</sup>

9, BD ST-GERMAIN - PARIS-5<sup>e</sup>

# COGEREL

Départements :

VENTE PAR CORRESPONDANCE

COGEREL - DIJON (cette adresse suffit)

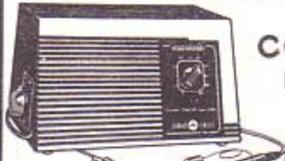
DOCUMENTATION GRATUITE SUR DEMANDE :

Catalogue KITS - CTR 8-493 - Catalogue PD - CTR 9-492

(joindre 4 timbres pour frais d'envoi)

RÉALISEZ VOS  
POSTES A TRANSISTORS

LAMPEMETRE  
SIGNAL TRACER



CONTROLEUR  
UNIVERSEL

Economie  
Sécurité  
Réussite  
assurée

Pièces détachées, en ensembles  
complets, ou séparées avec schéma  
et plans très détaillés

Documentation CA - contre 1,20 F en timbres

TECHNIQUE SERVICE

fermé le lundi  
Métro  
Choronne

17, Passage Gustave-Lepeu, Paris-11 - Tél. : ROQ. 37-71

## CENTRAL-RADIO

35, rue de Rome - PARIS 8<sup>e</sup>  
522 12-00 et 12-01 CCP 728-45

Expédie dans toute la France toutes  
les pièces détachées - Appareils de  
mesure et l'outillage du Radio-  
électricien.

CATALOGUE contre 4 timbres,  
conseillers techniques à votre  
disposition à nos magasins.

## LE GRAND SPECIALISTE

des Petits Montages Récepteurs de Radio  
et de la Radiocommande des Modèles Réduits.

- Ouvrages pour débutants -

Envoi du catalogue général contre 3 F

**PERLOR-RADIO**

16, R. Hérold, Paris (1<sup>er</sup>) - Tél. CEN. 65-50

POUR  
RECTA **REUSSIR** RECTA

A  
**COUP SUR ?**

ESSAYEZ AVEC NOS

**SCHEMAS**

**GRANDEUR**

**NATURE**

MONTAGES FACILES

AMPLIS GUITARE 3 A 50 W  
125 SCHÉMAS DE LAMPES

**REMISE 25 à 30%**  
SUR LAMPES-MAGNÉTOPHONES

Documentation complète c. 4,50 TP

Soc. **RECTA**

37, Av. LEDRU-ROLLIN - PARIS-12<sup>e</sup>

# NORD RADIO

TOUTES LES PIÈCES DÉTACHÉES ET  
ACCESSOIRES DES MEILLEURES MARQUES  
A DES PRIX IMBATTABLES

TÉLÉVISEURS - RÉCEPTEURS à transistors  
AMPLIS HI-FI - ELECTROPHONES  
MAGNÉTOPHONES - INTERPHONES, etc...  
Vendus en "KIT" et en ordre de marche.

139, RUE LA FAYETTE, PARIS-10<sup>e</sup>

Tél. TRUdaine 89-44 - Autobus et Métro : GARE DU NORD

TOUS LES MAGNÉTOPHONES

(GRUNDIG, PHILIPS, etc.)

TÉLÉVISEURS - ENCEINTES ACOUSTIQUES

PLATINES TOURNE-DISQUES, etc. (Consultez-nous).