

HAUT-PARLEURS

ET ENCEINTES ACOUSTIQUES

(Suite voir N° 1709)

III.4 – Châssis

On demande à ce dernier d'assurer l'assemblage et le positionnement précis des différentes pièces constitutives (fig. 40). La principale qualité recherchée est donc la rigidité.

Trois techniques se partagent la faveur des fabricants :

- châssis en tôle emboutie, en principe plus économiques et réservés aux modèles de grande diffusion ;
- châssis en alliage coulé, donc très robustes et conseillés pour modèles professionnels et de grand diamètre. Cette technologie permet d'échancrer largement la partie arrière du haut-parleur, diminuant ainsi la surface s'opposant au libre parcours de l'onde arrière. Cette particularité est recherchée pour les haut-parleurs « médium » dont la réponse est sensible aux échos proches ;
- châssis en polymère injecté qui allie grande précision et faible déformation du champ magnétique tout en facilitant l'insertion automatique de picots.

III.5 – Les haut-parleurs multiples

La difficulté de couvrir le spectre audible avec une seule membrane a incité de nombreux fabricants à étudier des combinaisons réunissant :

- soit deux moteurs électrodynamiques indépendants, l'un spécialisé dans le grave, l'autre dans l'aigu, dans un dispositif coaxial (fig. 41) ; voire même trois moteurs comme indiqué par la figure 42 ;

- soit deux membranes actionnées par une bobine mobile unique (fig. 43), la version la plus classique étant la membrane composite à cône d'aigu ;
- soit deux membranes à bobines mobiles plus ou moins indépendantes,

souvent avec liaison élastique entre les deux (fig. 44), de façon à favoriser le registre aigu contrôlé par une bobine de masse réduite située très près de la base du cône, tout en bénéficiant des avantages d'une bobine longue aux basses fréquences.

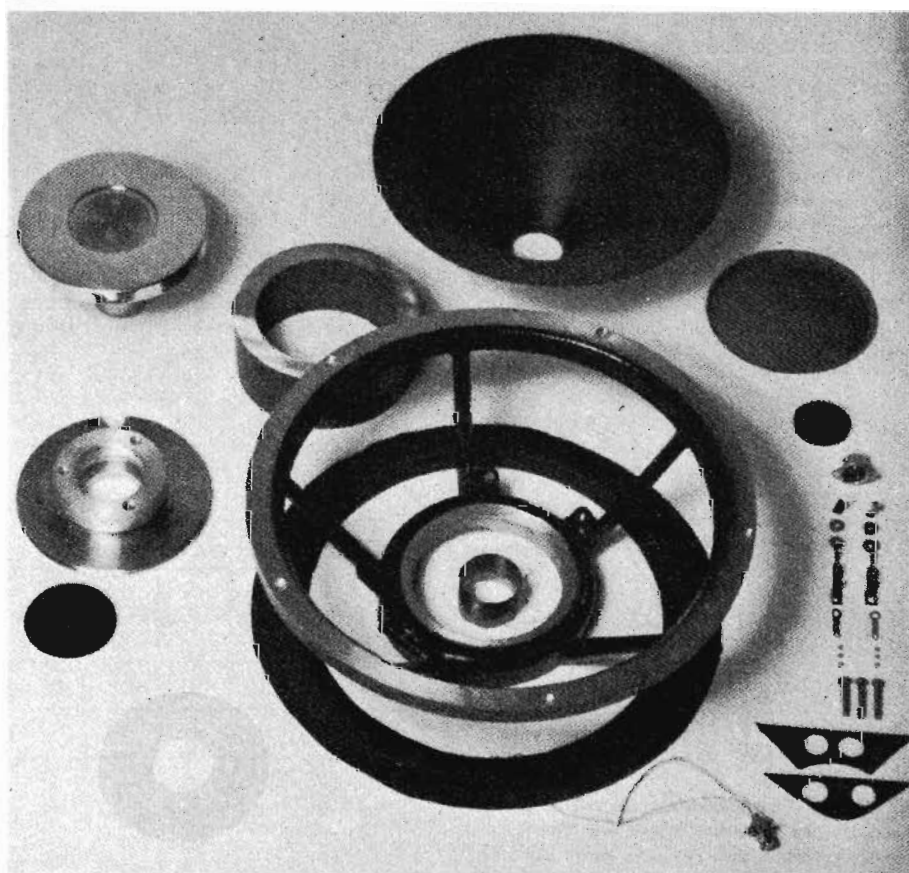


Fig. 40. – Vue d'ensemble des pièces constitutives d'un haut-parleur de grand diamètre (fabrication G. Cabasse).

Ces solutions prétendent remplacer le haut-parleur à large bande dont la membrane unique subit toutefois des traitements qui l'assimilent à un pseudo-coaxial :

- traitement assouplissant à la périphérie avec corrugations permettant un fractionnement de la membrane suivant la bande de fréquence à privilégier ;
- traitement durcissant pour la partie centrale avec amincissement ;
- choix d'un dôme-noyau en aluminium jouant le rôle de calotte émettrice telle un tweeter à dôme bossage pour favoriser la diffraction des ondes émises par le dôme central.

De tels haut-parleurs à large bande, dont l'ancêtre fut probable-

ment le célèbre « accordion edge » de RCA (1935), ont eu leur heure de succès jusqu'à la mise au point de haut-parleurs spécialisés dont le coût global reste généralement plus faible.

Beaucoup de modèles coaxiaux qui firent la réputation de grandes marques ont aujourd'hui disparu des catalogues [14].

On leur reprochait notamment :

- un prix élevé ;
- un son agressif lié probablement à des distorsions de l'élément aigu mis en résonance par les ondes sonores de l'élément grave ;
- une réponse tourmentée dans le registre médium due à des interférences produites par le haut-parleur aigu faisant obstacle aux ondes émises par

l'élément grave, sinon due à l'impossibilité de raccorder parfaitement les réponses de chaque moteur avec des filtres d'aiguillage simplifiés comme le montre la figure 45.

A leur avantage, on peut noter :
 - l'absence de dissociation sonore sur la parole,
 - la compacité pour usage en sonorisation.

Les exigences de la haute fidélité et l'abaissement constant des coûts de production ont finalement imposé, pour l'usage domestique, le recours à des éléments spécialisés. Même la solution à cône d'aigu a reculé, sauf pour les applications où compacité et légèreté sont des qualités fondamentales (montage sur véhicules, sonori-

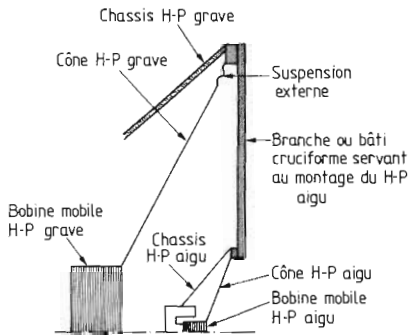


Fig. 41. - Principe de réalisation d'un haut-parleur coaxial à moteurs indépendants.

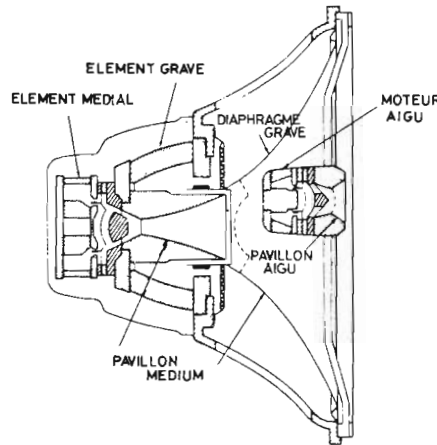


Fig. 42. - Vue en coupe du haut-parleur triaxial de Jensen à trois moteurs indépendants.

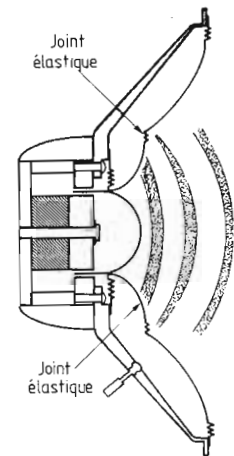


Fig. 43. - Haut-parleur à 2 membranes couplées élastiquement (réalisation Altec-Lansing).

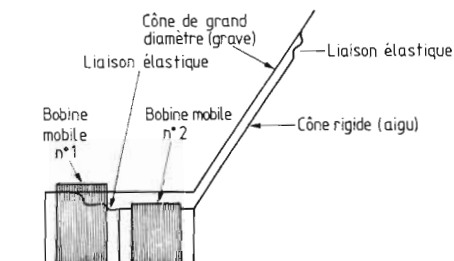


Fig. 44. - Schéma d'un haut-parleur à deux diaphragmes coniques et deux bobines mobiles (en réalité, pour ne pas augmenter par trop de largeur d'entrefer, le jeu entre les deux bobines mobiles est très faible).

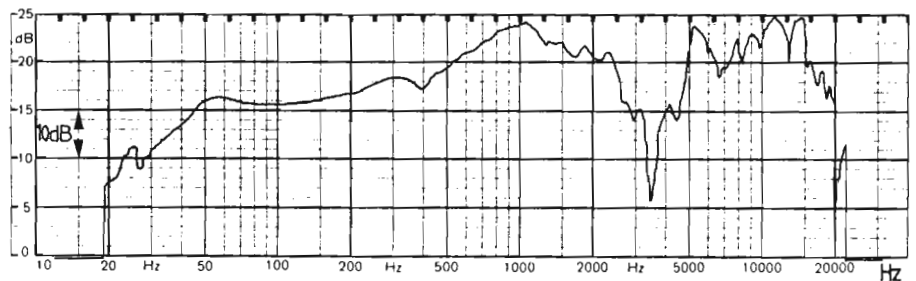


Fig. 45. - Exemple d'interférences produites par un assemblage coaxial à deux moteurs et trois membranes (les fréquences d'aiguillage sont 1 500 Hz et 4 500 Hz).

sation à sources multiples). Un tel assemblage, sauf s'il est parfaitement contrôlé (collage à chaud par exemple), est rarement exempt de vibrations parasites qui dissocient par déphasage la réponse de la membrane-relais de celle du diaphragme principal au voisinage de la fréquence de coupure du cône d'aigu. Toutefois, ce type de haut-parleur utilisé en solo est encore très apprécié en sonorisation.

III.6 – Les haut-parleurs spécialisés

Les impératifs de la restitution sonore à large bande ayant, dès les années cinquante, imposé le fractionnement du spectre en 2 ou 3 canaux spécialisés, il a été possible de mieux

adapter le profil et le matériau à la bande de fréquence à restituer :

- diaphragmes coniques en papier épais ou composites (polystyrène + aluminium) ou métalliques (nickel poreux, aluminium) pour élément grave ;
- diaphragmes minces exponentiels ou à dômes pour les fréquences moyennes (papier pressé, aluminium, plastique) ;
- diaphragmes coniques ou à dômes pour les fréquences élevées (masse comprise entre 200 et 500 mg et fréquences de résonance comprises entre 400 Hz et 1 500 Hz).

III.6.1 – Les haut-parleurs de grave (boomers)

Leur technologie répond en général au modèle classique décrit précédemment (fig. 39), avec :

- membrane conique ou curviligne ;
- fréquence de résonance comprise entre 15 et 40 Hz ;
- suspension externe souple autorisant de grands déplacements de l'équipage mobile ;
- anneau de contrôle de masse pour fixer avec précision la fréquence de résonance (certains fabricants rajoutent une masse additionnelle au dôme cache-noyau, sous forme de mastic) ;
- bobine longue et de grand diamètre pour meilleure dissipation thermique ;
- matériaux de membranes à fibres longues, à sandwich polystyrène + aluminium en structure plane (KEF) ou conique (LEAK) ;
- aimant surpuissant compensant l'alourdissement de la membrane.

Cette dernière particularité conduit généralement, pour les grands diamè-

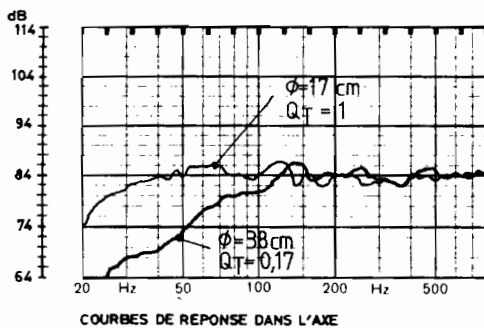


Fig. 46. – Courbes de réponse dans l'axe sur baffle normalisé CEI de deux haut-parleurs ayant même fréquence de résonance mais de diamètres et d'amortissement différents.

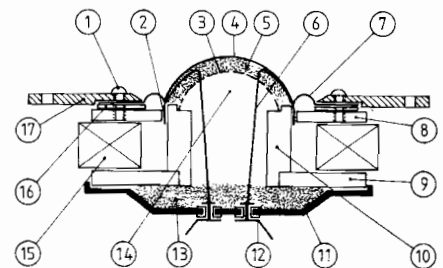


Fig. 47. – Vue en coupe d'un haut-parleur médium à dôme ($\varnothing = 5$ cm). (Réalisation : 3A.)

1. Vis de fixation de la face sur l'aimant.
2. Bobine mobile-entrefer.
3. Grille d'amortissement.
4. Membrane en tissu imprégné.
5. Laine de verre.
6. Fils de liaison de la bobine aux cosses.
7. Suspension périphérique.
8. Plaque de champ avant (fer doux).
9. Plaque de champ arrière (fer doux).
10. Noyau (fer doux).
11. Capot fermant la cavité.
12. Cosses de sortie.
13. Laine de verre d'amortissement de la cavité.
14. Cavité.
15. Aimant ferrite.
16. Joint d'étanchéité.
17. Face avant.

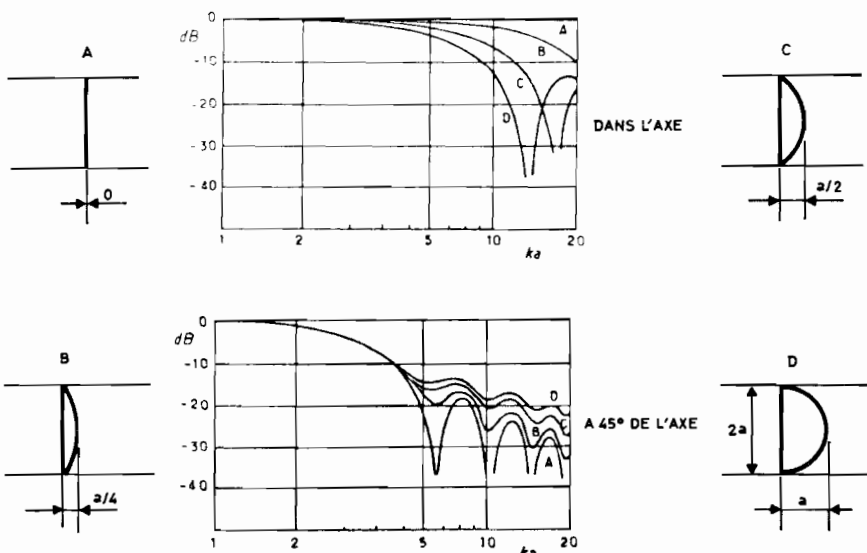


Fig. 48. – Réponses comparées de quatre membranes dont trois à profil sphériques (la grandeur portée en abscisse est $ka = 2 \pi a / \lambda$.)

tres (24 cm à 70 cm), à un suramortissement qui défavorise la réponse aux basses fréquences (Q_T inférieur à 0,5, voir figure 5). Ce point est confirmé par la comparaison des réponses en pression acoustique de deux haut-parleurs de 17 cm et 38 cm ayant même fréquence de résonance (26 ± 3 Hz), mais possédant respectivement pour terme d'amortissement $Q_T = 1$ et $Q_T = 0,17$ (fig. 46). On retrouve ainsi l'influence prépondérante du terme $(Bl)^2/Re$, déjà mentionnée (cf. tableau II), et qui sera explicitée complè-

tement dans le chapitre consacré aux enceintes.

L'analyse du comportement d'un haut-parleur grave ne sera pas poursuivie plus avant ici, étant entendu que les résultats dépendent de la combinaison haut-parleur + enceinte.

III.6.2 – Les haut-parleurs de médium/aigu

La technologie des haut-parleurs classiques à cônes réservés au registre médium/aigu ne diffère pas fondamentalement de celle des modèles

« grave », les caractéristiques dominantes étant un diamètre faible (rarement plus de 17 cm), cône peu profond pour éviter la mise en résonance du volume d'air inclus dans l'angle solide défini par le contour de la membrane, une fréquence de résonance assez élevée (jusqu'à 100 Hz), un équipement allégé (bobine à 1 couche, fil aluminium).

Pour les modèles à grand diamètre, l'adoption d'un noyau de diffraction placé au lieu et place du dôme cache-noyau habituel constitue un remède efficace contre une directivité accusée et contre des focalisations excessives (responsables d'oppositions de phase dans une zone critique pour l'audition).

Pour les haut-parleurs d'aigu (tweeters), les constructeurs ne se contentent pas de diminuer le diamètre de la membrane (jusqu'à 3,5 cm de diamètre). Ils l'allègent au maximum en choisissant l'aluminium sous faible épaisseur (50 μ), sinon en remplaçant le dôme central au papier par un dôme métallique (titane, aluminium).

Certains modèles sont livrés avec capot arrière qui simplifie la réalisation des enceintes multicanaux, en protégeant l'élément médial ou aigu contre les interférences.

Aujourd'hui, ces modèles à cônes sont de plus en plus remplacés par des modèles à dôme, sans qu'on puisse parler toutefois d'une véritable innovation, puisqu'une première réalisation a été citée tout de suite après la guerre de 1914-1918. Il s'agit en fait d'un haut-parleur classique auquel on a réduit la membrane au seul dôme cache-noyau (fig. 47). On évite ainsi trois grands défauts :

- résonances secondaires de membrane. Ici les dimensions faibles procurent une grande rigidité qui permet d'approcher un fonctionnement réel en piston tout en autorisant des déplacements importants ;
- résonances de suspension périphérique (absence d'échos) ;
- directivité du rayonnement acoustique se traduisant par une chute de rendement en dehors de l'axe. Cet effet affecte surtout les fréquences élevées et rend difficile la mise en phase des membranes dans les systèmes à plusieurs haut-parleurs.

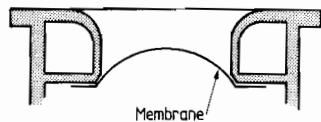
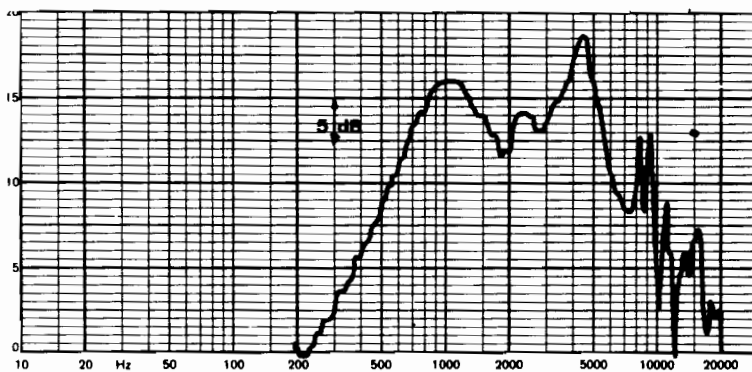
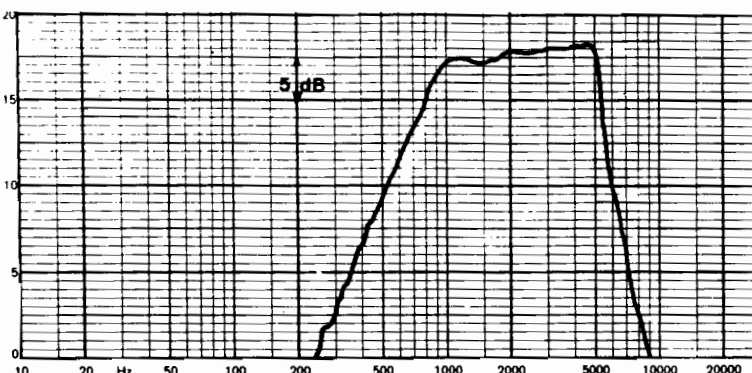


Fig. 49. - Vue en coupe d'un adaptateur d'impédance de rayonnement pour un haut-parleur à dôme (document : Cabasse).



sans adaptateur d'impédance.



avec adaptateur d'impédance.

Fig. 50. - Influence de l'adaptateur de la figure 49 sur la réponse acoustique d'un haut-parleur à dôme de 2,6 cm de diamètre utile.

Il ne faut cependant pas attendre des profils hémisphériques des vertus particulières, comme en témoignent les résultats théoriques de J.-M. Kates [15], où il apparaît que le dôme n'est avantageux qu'aux fréquences très élevées et hors de l'axe, la réponse dans l'axe étant plutôt favorable aux disques plats (voir fig. 48). On ne peut, en effet, éviter des interférences dues au décalage des ondes émises par les différentes surfaces élémentaires de la calotte.

Compte tenu de la faible surface émissive, un rendement correct n'est obtenu qu'avec un aimant surdimensionné (en faisant appel notamment aux ferrites dopés au strontium ou au baryum) et une fréquence de résonance élevée (jusqu'à 1 600 Hz) qui rend critique le choix de la fréquence d'aiguillage dans les systèmes à deux voies. On peut toutefois améliorer le rendement en dotant le haut-parleur

d'une amorce de pavillon jouant le rôle d'adaptateur d'impédance susceptible d'améliorer la réponse, tout en minimisant les effets de diffraction sur les obstacles proches (parois du baffle).

Un exemple de profil optimisé est visible sur la figure 49.

La figure 50 confirme les avantages ainsi obtenus :

- meilleure régularité en bande passante ;
- meilleur rendement ;
- pente d'atténuation rapide à la coupure inférieure, qui diminue les interférences dans les zones de recouvrement entre plusieurs membranes.

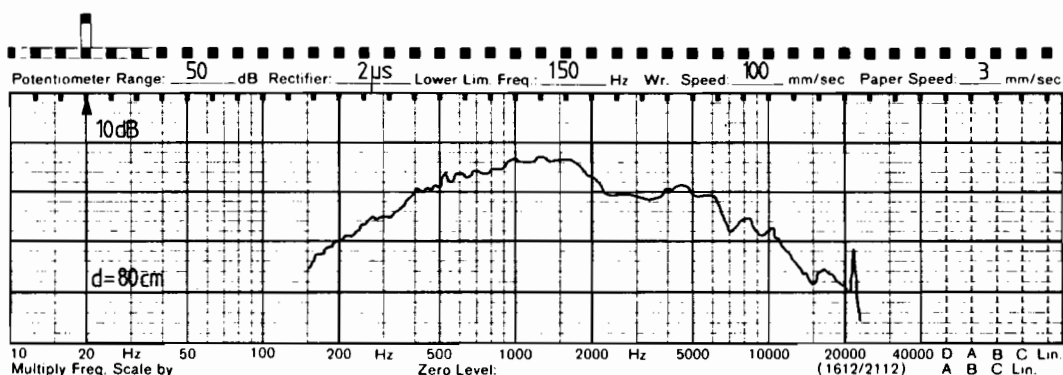
Dans un tel projet mécanique, sont particulièrement critiques :

- le volume de la cavité arrière qui fixe à la fois la fréquence de résonance et le coefficient d'amortissement de la suspension (effet d'enceinte close) ;

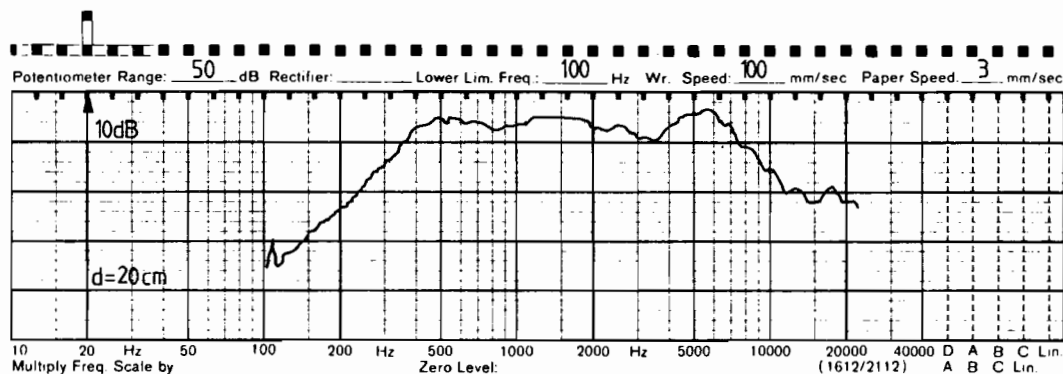
- le matériau constituant le dôme (son épaisseur, son traitement).

Sur le premier point, un compromis est recherché entre réponse transitoire (Q critique) et rendement, lequel dépend de la fréquence de résonance. Comme dans les enceintes acoustiques closes, on amortit le volume retenu par du coton ou de la laine de verre.

Le deuxième point fait appel à l'expérience pour obtenir une bonne rigidité et une faible masse qui conduisent à choisir des matériaux à grande vitesse de propagation dans le mode longitudinal. Certains fabricants choisissent des métaux (beryllium, titane, aluminium) qui ont un rapport E/ρ favorable, mais à faible amortissement intrinsèque souvent à l'origine d'une sonorité métallique. D'autres préfèrent, soit une résine époxyde ou polycarbonate, soit un tissu polyester imprégné, éventuellement armé



Prototype 001 : Tissu polyester (75 g/m²) – bobine : 2 couches 20/100 – Cavité de 55 cm³ (f_R = 320 Hz – Q = 1,46).



Prototype 007 : Tissu tergal bakélinisé (90 g/m²) – bobine : 2 couches de fil thermodhésif 14/100 – Cavité de 43 cm³ – (f_R = 450 Hz – Q = 1,04).

Fig. 51. – Résultats de mesure de deux prototypes de haut-parleur médium à dôme (d = distance microphone/haut-parleur).

(taffetas), soit encore des complexes associant par exemple tergal ou coton + apprêt à base de bakélite + enduction de latex de butyle. Pour illustrer le long travail de laboratoire que représente une telle mise au point, nous avons rassemblé dans la figure 51 les résultats de mesure de deux prototypes correspondant au projet mécanique décrit par la figure 47. On notera que le prototype 001 ne fonctionne en piston que jusqu'à 2000 Hz avec un tissu insuffisamment rigide et ne possède pas un amortissement correct. Le prototype 007 présente une réponse proche de l'optimum avec une fréquence de résonance pas trop élevée pour un amortissement amé-

lioré, après changement du matériau constituant le dôme et modification du diamètre du fil et du volume de la cavité arrière.

Pour de tels haut-parleurs destinés à reproduire des régimes transitoires rapides, on recherche des temps de montée brefs et un minimum de traînage. Ceci justifie une caractérisation en régime impulsif.

III.6.3 – Haut-parleurs passifs

Il s'agit de haut-parleurs « Grave » classiques dont on a éliminé le moteur. Ceux-ci se trouvent réduits par conséquent à un simple équipement mobile susceptible d'être couplé pneu-

matiquement à un haut-parleur actif pour former un système à double résonateur à large bande. La théorie qui en sera faite au chapitre des enceintes à évent indique la nécessité de doter la suspension d'une fréquence de résonance très basse au plus égale à celle du haut-parleur actif, par exemple 15 Hz pour un diamètre de 31 cm. Ceci peut être obtenu simplement en surchargeant par un mastic épais la membrane traditionnelle, en faisant l'économie de l'aimant. On peut toutefois partir d'un haut-parleur classique dont on court-circuite plus ou moins la bobine mobile afin d'ajuster l'amortissement. (A suivre.)

P. LOYEZ

Bibliographie du chapitre III

[6] J. THURIN : Electricité Générale, éditions Eyrolles (1965), chapitre VII (Le magnétisme).
 [7] F. BROUCHIER : Théorie élémentaire du haut-parleur électrodynamique (édition privée assurée par l'auteur).
 [8] G. PENKOV : Le régime thermique des haut-parleurs, Revue du Son n° 241 (mai 1973) p. 58 à 60.
 [9] W. BOTTENBERG, L. MELILO, K. RAJ : The Dependence of Loudspea-

ker Design Parameters on the Properties of Magnetic Fluids, J.A.E.S. vol. 28 n° 1/2 (janv./fév. 80).
 [10] Dr. ANTONIN MILCAK : Optimizing the mechanical properties of paper for loudspeaker cones, Tesla Electronics, 1/76 (vol. 9).
 [11] GOLDBERG J.-E. : Axisymmetric Oscillations of Conical Shells, Proc. of the IXth International Congress of Applied Mechanics, Brussels, 1956.
 [12] F.-W. RAVENHALL and A.K.

SOM : Some recent observations on Chladni's figures, Acustica, vol. 29 (1973).
 [13] D.A. BARLOW : Rigidity for Loudspeaker Diaphragms, Wireless World, déc. 1958, p. 564 à 569.
 [14] R. LAFAURIE : Haut-parleurs coaxiaux, Revue du Son n° 21 et 22 (janv./fév. 1955).
 [15] J.-M. KATES : Radiation from a dome, J. Audio Eng. Soc., vol. 24 n° 9, p. 735 à 737.

Bloc-notes

RECUPERATION DES CIRCUITS INTEGRES

Nous avons abordé plusieurs fois ce problème dans les colonnes du HP. Le principe de récupération que nous vous proposons ici peut être utilisé dans différents cas, en dépannage, en récupération sur de vieux montages, etc. Cette méthode permet de récupérer un circuit intégré dans son intégralité, sans abîmer ses pattes ni le circuit imprimé. On connaît les méthodes traditionnelles comme la pompe à dessouder ou la tresse à capillarité, la pompe à dessouder permet d'enlever le gros de la soudure mais il en reste souvent suffisamment pour que le composant tienne en place. La

tresse à dessouder, assez pratique, demande un apport de chaleur non négligeable, elle est relativement chère et complètera l'action d'une pompe.

Notre méthode, expérimentée de multiples fois, ne concerne que les démontages sur des circuits imprimés simple face ou sans trous métallisés.

Pour cette opération, il faut

se munir d'un morceau de balsa, pris, par exemple, dans une planche de 20/10^{es}. On se taille un petit bâton de la section d'une allumette.

On chauffe la soudure à l'aide d'un fer et on enfle l'extrémité de ce petit bâton sur la broche à dessouder. La soudure s'écarte alors de la broche et reste à proximité, prête éventuellement à resservir. On

recommence l'opération sur toutes les broches en rénovant, si nécessaire, l'extrémité de « l'outil ».

Compte tenu de la nature de l'outil, il n'est pas nécessaire d'apporter beaucoup de calories, le bâtonnet ne refroidissant pratiquement pas la soudure fondue.

Il restera alors à tirer sur le circuit intégré afin de l'extraire. On devra peut être forcer un peu, il peut en effet rester de la soudure entre le circuit et les broches. Refaire éventuellement l'opération et surtout ne surchauffez pas les circuits imprimés et intégrés !

E.L.

