

L'AUDIOPHILE



3^e Année

N^o 16

Juin
1980 30 F.

**Page non
disponible**

Pré-préamplificateur pour cellule à bobine mobile

Jean Hiraga

Ces dernières années, de nombreux phonolecteurs utilisant pour principe de transduction la bobine mobile, sont apparus sur le marché international. Au Japon, une grande partie de ces cellules a été lancée entre 1976 et 1980 et la production de celles-ci est devenue relativement importante. Peut-être faut-il attribuer cela à la « vogue » de ce type de cellule, dont le principe remonte à Ortofon et aux années 1960, ou bien à la plus grande facilité de fabrication en série sous tolérances serrées, ceci grâce aux nouvelles machines à bobiner automatiques.

Si les qualités d'une cellule à bobine mobile sont nombreuses, en particulier les qualités subjectives, on sait que le défaut principal de tels transducteurs est une tension de sortie très faible, soit quelques 25 dB de moins que les phonolecteurs conventionnels à aimant mobile. Ceci rend absolument nécessaire l'usage d'un transformateur convertisseur d'impédance et élévateur de tension, ou alors celui d'un pré-préamplificateur qui est, dans 99 % des cas, transistorisé (le reste étant à tubes ou à nuvistors).

Le prix de vente moyen des phonolecteurs à bobine mobile a assez sérieusement augmenté en raison de la lancée de nombreux modèles de haut de gamme, utilisant souvent des technologies très nouvelles (matériaux en particulier). Le pré-préamplificateur (ou le transformateur) étant une nécessité pour l'adaptation au préamplificateur, le prix de

revient de l'ensemble devient important. Il y a donc des impératifs de prix global, des limites de rapport qualité/prix, de rapport prix/performance subjectives à respecter.

En matière de pré-préamplificateur à transistors, on a pu voir certains produits pour lesquels le critère de prix semble avoir été complètement oublié. Le prix

peut dépasser trois à quatre fois le prix d'une cellule de haut de gamme, les dimensions atteindre des valeurs aussi importantes que 40 cm de long sur 30 cm de large et le circuit devenir compliqué au point de contenir près de 40 transistors par canal. Or, dans le sens inverse, il est tout aussi vrai de dire qu'un circuit ultra-simple n'est pas intéressant

si ses performances ne valent pas largement celles d'un circuit compliqué. Bien que sans grandes prétentions, le circuit décrit dans l'Audiophile N° 5 est capable, malgré son extrême simplicité, d'accéder à des performances plus qu'honnêtes, grâce à un circuit basé sur le schéma « Maki ». D'autres améliorations de ce circuit existent ainsi que d'autres schémas simples mais excellents. Ce sont des circuits conseillés, car ils répondent parfaitement à cette condition de simplicité, fiabilité, prix de revient intéressant et, surtout, performances égalant ou dépassant celles de circuits très sophistiqués.

Circuits à étage d'entrée à transistor à effet de champ :

La grande majorité des circuits pour cellule à bobine mobile utilisent en entrée des transistors à effet de champ. La raison principale n'est sans doute pas une question de bonne adaptation à la cellule, mais une question de bruit résiduel, un point assez délicat à résoudre pour un circuit pré-préamplificateur dont la sensibilité d'entrée doit être de l'ordre de 0,1 mV (et même moins dans certains cas) et l'impédance d'entrée extrême-

ment basse (1 à 2 Ohms pour certaines cellules).

Or, un transistor à effet de champ ne paraît pas très bien convenir et son choix dans l'utilisation en tête du circuit n'est, à l'origine, qu'un compromis. Son impédance d'entrée est très élevée et son impédance de sortie assez basse, alors que le contraire serait souhaitable.

Le circuit Maki, ou les dérivés de celui-ci, est très intéressant car il est à la fois simple tout en évitant le bruit thermique provoqué par la résistance R_g (supprimée). De plus, la polarisation 0 ne pose aucun problème, vu que jusqu'à + 0,4 V il ne se produit aucun courant de fuite de la gate.

Dans le circuit présenté dans le n°5 de l'Audiophile, le choix d'un transistor de très haute qualité (un modèle spécial de la firme Sony, récemment abandonné, et remplacé par de nouvelles séries courantes, mais aussi performantes) permettait, grâce à des caractéristiques de très faible bruit, capacité parasite C_{GS} très basse vu le G_m important, courant de fuite de gate très bas (moins de 1 nA au cut-off), d'obtenir de très bons résultats en bande passante (près de 1 MHz) et en distorsion (pratiquement non mesurable). Cela

avec un résultat subjectif excellent, parfois même supérieur à ceux obtenus avec des amplificateurs de haut de gamme.

Signalons ici un point assez particulier, et qui ne trouve pas encore d'explication plausible, concernant les « FET » à très faible bruit. Contrairement à ce que l'on pourrait s'imaginer, ceux-ci ne se choisissent pas uniquement d'après leurs diverses caractéristiques « intéressantes » de bruit, capacité parasite, etc... Comme les tubes, ils ont aussi chacun une « sonorité » bien déterminée, qui, même si elle est masquée, modifiée, compensée ou amplifiée par les circuits utilisés, doit être sérieusement prise en considération. Pour le fameux circuit Kanéda par exemple, on reconnaît facilement la différence, au terme d'une simple écoute, entre cinq transistors de type 2N 3954 d'origine différente et pourtant pré-appairés au traceur de courbes. Ceci malgré des différences à peine détectables au distorsiomètre. Celles-ci ne concernent d'ailleurs pas, à l'écoute, la distorsion, mais des facteurs plus variés comme l'effet de profondeur, l'équilibre grave-médium-aigu, l'extrême aigu. En somme, ce sont des différences assez inexplicables mais

2SK43

Rank	I_{DSS} ($V_{DS} = 10V, V_{GS} = 0$)	V_p ($V_{DS} = 10V, I_D = 30\mu A$)	g_m ($V_{DS} = 10V, f = 1kHz$)	R_{ON} R_{OFF}	
2SK43-	1	0.9- 3.3 mA	0.18-0.61 V	6.3 m Ω -	-
	2	2.7- 5.5 mA	0.36-0.83 V	6.3 m Ω -	-
	3	4.5- 7.7 mA	0.45-0.99 V	10.8 m Ω -	-
	4	6.3- 9.9 mA	0.58-1.21 V	10.8 m Ω -	-
	5	8.1-12.1 mA	0.72-1.38 V	12.6 m Ω -	-
	6	9.9-14.3 mA	0.85-1.49 V	12.6 m Ω -	-

Fig. 1 : Transistor 2SK 43. Variation de la dispersion du I_{DSS} et du g_m suivant le lot, réparti entre 1 et 6.

que l'on retrouve aussi entre cinq tubes ECC 83 soi-disant « identiques ».

Pour le circuit paru dans le n°5 de l'Audiophile, le transistor 2SK 43-2 « rouge » avait été utilisé car il offrait des performances subjectives particulièrement bonnes (utilisé sur les microphones à condensateur SONY).

D'après le schéma « Maki », un transistor au I_{dss} de l'ordre de 6,25 mA était conseillé. Or, le 2SK 43-2, d'après le tableau de la figure 1 se trouve légèrement en dessous. Cette série 2SK 43 est en effet munie d'un suffixe réparti entre 1 et 6 qui détermine les limites de dispersion du I_{dss} .

En fait, la série 2SK 43-3, 2SK 43-4 ou même 2SK 43-5 convient mieux. Elle permet en particulier d'abaisser la valeur R_d pour l'obtention d'un gain global identique.

On peut, bien sûr, monter des transistors 2SK 43-2 en parallèle et abaisser la valeur de R_d , ce qui se traduira auditivement par un résultat amélioré dans le secteur médium aigu (à noter que cela est dû à la baisse de la valeur de R_d , plus qu'à l'effet de la mise en parallèle des transistors).

La mise en parallèle des transistors FET met aussi en parallèle les capacités parasites C_{GD} et C_{GS} . Mais, cette valeur étant faible sur le 2SK 43-2 (7 pF), il n'y a aucun inconvénient. Songeons à ce propos que de nouveaux transistors au G_m très élevé (40 mV par exemple), comme le Toshiba 2SK 146 ou le NEC 2SK 130A, ont une capacité parasite dépassant 55 pF !

Il y a un autre problème qui est celui du bruit résiduel. Celui-ci augmente dès que le transistor se met à trop débiter, ce qui oblige à le faire travailler sous très faible courant. Ce niveau de

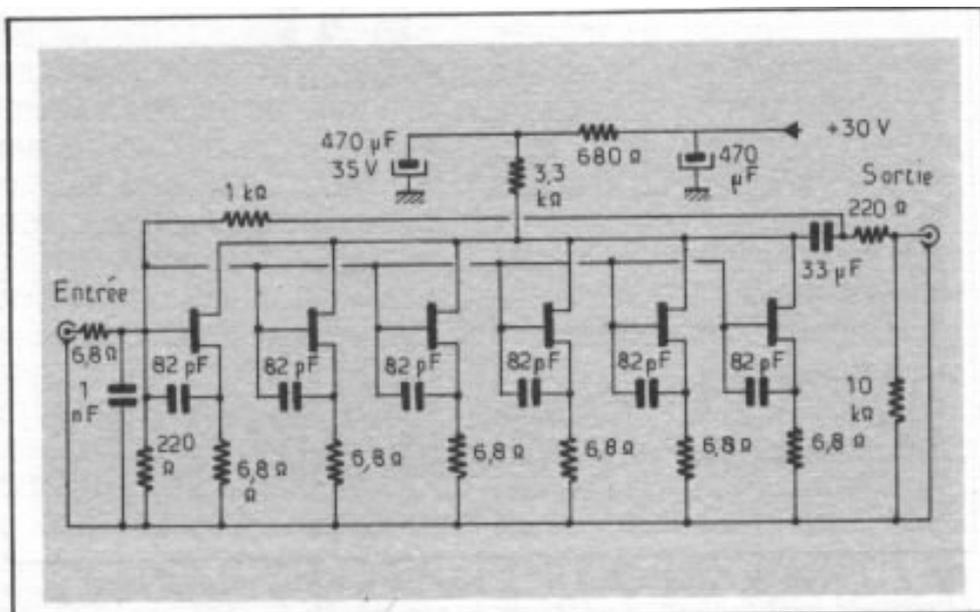


Fig. 2 : Circuit pré-préamplificateur JVC adopté pour le préamplificateur P-2020. Les transistors utilisés sont les 2SK 68A (assez proches des 2SK 43-2) montés en parallèle. Remarquer les condensateurs de 82 pF et le condensateur de 1000 pF (en entrée) évitant un risque d'instabilité lorsque l'entrée est débranchée, et la boucle de contre réaction formée par la résistance de 1 kOhms. En sortie, un condensateur de 33 µF évite le passage du courant continu et la résistance série de 220 Ohms améliore la stabilité.

bruit augmente aussi lorsque la tension V_{ds} est trop importante. Une solution simple consiste, par exemple, à monter plusieurs transistors en parallèle, le 2SK 68A par exemple (assez proche du 2SK 43-2), en polarisant légèrement la gate.

On introduit ainsi dans le circuit de source une résistance de très faible valeur, n'apportant donc pas de bruit thermique gênant.

La mise en parallèle de toutes les gates entraîne une très légère augmentation du courant de fuite I_{gss} mais ceci est « rattrapé » par la légère polarisation, vu que le courant I_{gss} augmente très légèrement jusqu'à + 0,4 V, puis brutalement au-dessus de cette valeur. Un exemple de ce circuit, utilisant 6 transistors 2SK 684 montés en parallèle, est représenté sur la figure 2. Il s'agit du circuit adopté par JVC pour un appareil à pré-préamplificateur intégré, de référence P-2020. Notons la présence de con-

densateurs de petite valeur entre la gate et la source de chaque transistor, évitant une éventuelle instabilité ou un risque d'oscillation lorsque l'entrée n'est pas reliée, ainsi qu'un léger effet de contre réaction en courant apporté par le non-découplage des résistances de polarisation R_s . Cette solution est donc à la fois simple et performante.

A propos du circuit de l'Audiophile n°5, une seconde modification est possible. Son but est d'améliorer la stabilité de fonctionnement, et ainsi la qualité subjective du grave. Ceci a été tenté avec la modification indiquée sur la figure 3 où une légère contre réaction est ajoutée (8 à 10 dB suivant la valeur de R-CR) et où un condensateur placé entre la gate et la source améliore la stabilité tout en réduisant très légèrement la bande passante. La bande passante passe ainsi à 500 kHz environ (- 0,8 dB) au lieu de près de 1 MHz et le résultat subjectif glo-

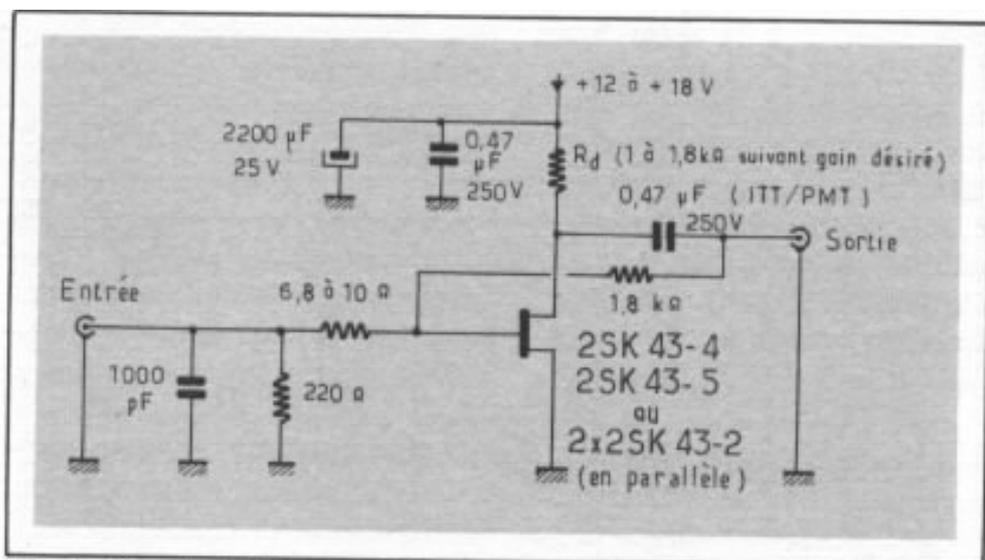


Fig. 3 : Circuit de l'Audiophile N° 5, basé sur le circuit original Maki, après la seconde modification. Remarquer la présence de la résistance de contre réaction (1,8 kOhms, mais ajustable suivant gain désiré entre 1,5 et 3 kOhms) et du transistor présentant un I_{dss} plus important (8 à 10 mA au lieu de 4 environ, pour la série 2SK 43-2). Le condensateur de 1000 pF entre la gate et la masse réduit le risque d'accrochage ou d'instabilité lorsque l'entrée est débranchée. Il réduit d'autre part légèrement la bande passante (à 500 kHz environ). Le condensateur de sortie est de type ITT/PMT, isolement 250 V. Les résistances sont de type tantale 1/2 W 1%.

bal est supérieur à la première version. La figure 3 utilise, soit deux transistors 2SK 43-2 en parallèle, soit un transistor 2SK 43-4 ou 5.

Travaillant à très basse impédance, ce genre de circuit est sensible à l'alimentation, à ses qualités et à ses défauts, et le meilleur compromis reste celui des grosses piles ou des petits accumulateurs rechargeables (type étanche de capacité 2 à 3 AH). Le circuit étant simple, il est possible ensuite de choisir le gain désiré en jouant soit sur la valeur de la tension d'alimentation + Vcc, soit sur la valeur de R_d (se reporter au n° 5).

Dans le n°5, les lecteurs ont pu aussi examiner avec intérêt ou même réaliser le circuit américain W.Marshall Leach. Il est possible de réaliser ce dernier avec des transistors à effet de champ, en utilisant deux transistors, l'un de type FET canal P, l'autre de type FET canal N.

Il n'en sera pas question ici car, pour un étage pré-amplifi-

ificateur, apparaissent des difficultés assez sérieuses en appariage. Un tel circuit peut, par contre, être utilisé avec succès pour un étage d'entrée d'amplificateur de puissance que l'on peut d'ailleurs réaliser à 100 % à l'aide de transistors FET ou

V-MOS-FET. Il est possible qu'un tel circuit soit décrit ultérieurement, bien qu'il pose quelques difficultés de câblage en raison du F_t très élevé des transistors utilisés (risque fréquent d'oscillations parasites).

Circuit à transistors bipolaires

Parmi les circuits simples à retenir, le circuit Marshall Leach est très intéressant, en particulier parce que le traditionnel condensateur d'entrée peut être supprimé à l'aide d'un circuit push-pull réduisant la distorsion et accédant à une large bande passante sans l'aide d'un circuit de contre réaction. Il évite donc des distorsions du genre « TIM » et sa simplicité est son plus gros intérêt.

Par contre, le bruit de fond pose quelques problèmes de base. La qualité du transistor utilisé est donc primordiale.

Ce n'est que récemment que furent réalisés en Hollande, aux U.S.A., et au Japon des transistors bipolaires de type « ultra low noise », à bruit de fond

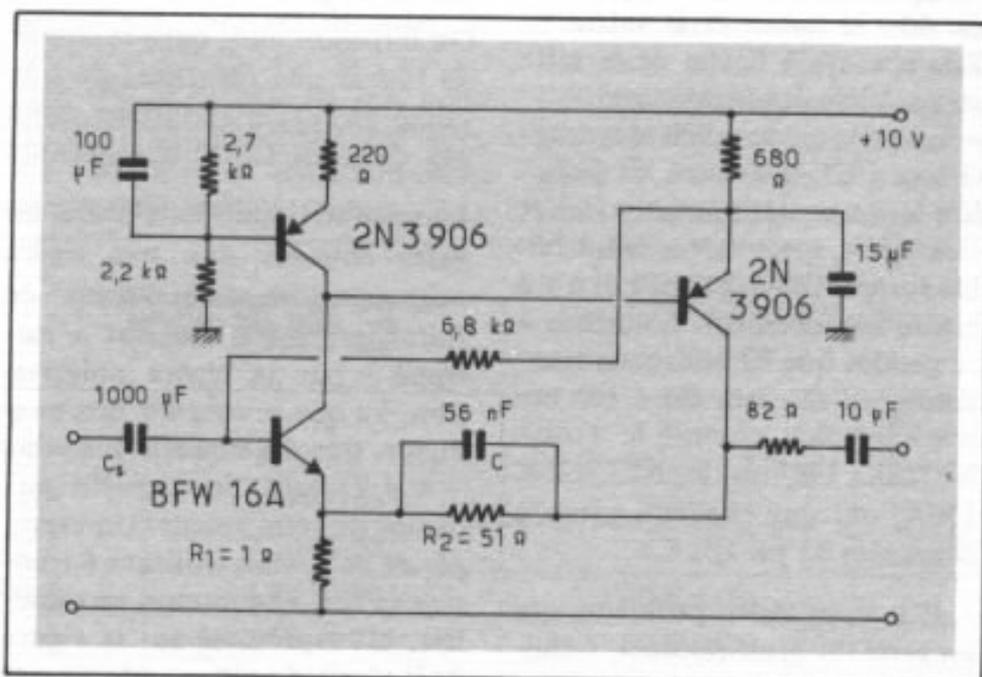


Fig. 4 : Pré-préamplificateur à transistor d'entrée bipolaire NPN à faible bruit et caractéristique r_{bb} très basse, paru dans la revue de l'AES (Avril 1980). Remarquer la présence du condensateur d'entrée de 1000 μF (valeur nécessaire à cause de l'impédance d'entrée très basse)

extrêmement bas, dont la plupart ont été spécialement conçus pour de telles utilisations en basse fréquence et en haute fidélité.

En Hollande par exemple, un transistor intéressant, commercialisé par Philips, est le type BFW 16A de très faible bruit et dont la caractéristique r_{be} (résistance intrinsèque de base) est très basse, soit 4 Ohms. Ce transistor et ses équivalents ont été utilisés par exemple dans un schéma décrit très récemment dans la revue de l'AES, utilisant trois transistors et que les lecteurs pourront examiner sur la figure 4. Très intéressant, ce schéma également très simple a toutefois le désavantage de posséder en entrée un condensateur d'isolement C_1 , lequel est gênant vis-à-vis des performances subjectives (vu sa valeur, on est obligé d'utiliser un condensateur électrochimique). La régulation en courant à l'aide d'un transistor est par contre intéressante et protège (théoriquement) le circuit amplificateur contre les variations et le bruit produits par l'alimentation.

En revenant au transistor d'entrée bipolaire, on peut à présent trouver, notamment au Japon où les progrès en semi-conducteurs sont très rapides, des paires complémentaires aux applications spécialement adaptées au pré-préamplificateur. Parmi une quinzaine de modèles disponibles, on peut retenir comme excellente à tout point de vue la paire 2SB 737R (PNP) et 2SD 786R (NPN) dont le Hfe est situé entre 120 et 760, et le V_{ce} max. à 40 V et dont le bruit de fond e_n est inférieur à $0,45 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$. Pour cette paire, la valeur de r_{be} , résistance intrinsèque de base est située entre 1,8 et 6 Ohms (sui-

vant les lots). Ce sont donc des transistors encore plus intéressants que les nouvelles séries du genre Philips, en raison d'un Hfe beaucoup plus élevé.

Ces transistors, qui se présentent sous forme de boîtier standard TO 92, ont d'autre part l'avantage d'être d'un prix abordable, ce qui n'est pas le cas de certains transistors FET spéciaux. Bien que cette paire 2SB 737R/2SD 786R puisse être utilisée dans un circuit du genre Marshall Leach, il serait souhaitable que l'Audiophile reçoive de nouvelles idées de la part des lecteurs intéressés, idées qui ne manquent pas dans chaque pays et chez les amateurs (comme les professionnels), mais qui ne sont presque jamais confrontées et comparées les unes aux autres par manque de communication. Car, un fait est certain : le phonolecteur à bobine mobile travaillant à très basse impédance doit être plus considéré comme un générateur de courant que comme un générateur de tension. L'adaptation au transistor bipolaire est donc préférable. Vu qu'il existe à présent plusieurs transistors bipolaires parfaitement adaptés et de très faible bruit thermique, il ne manque plus que les idées...

Réalisation d'un circuit à transistors bipolaires

Le circuit dont il est ici question n'utilise, comme le circuit « Maki » ou Maki modifié, qu'un seul transistor amplificateur.

La figure 5 montre comment se présente le circuit. Celui-ci ressemble fortement à un circuit de régulation dit « current mirror ». En effet, le transistor Tr_1 travaille en régulateur de courant.

Son but est de supprimer tout risque de dérive malgré une variation de température.

On voit que l'entrée basse impédance, reliée à l'émetteur de Tr_2 se trouve à un potentiel de zéro par rapport à la masse, condition essentielle pour que l'on puisse supprimer le condensateur d'entrée, normalement nécessaire.

Avant de présenter ce schéma, plusieurs autres circuits ont été étudiés, dont un circuit n'utilisant que trois transistors et offrant, à partir d'une cellule à bobine mobile du genre Denon DL 103 (sensibilité 0,4 mV, sous 40 Ohms d'impédance), une tension de sortie de 300 mV après correction RIAA, ce qui est très intéressant (le préamplificateur n'est plus nécessaire si l'amplificateur qui suit a une sensibilité de l'ordre de 300 mV). Cependant, ou bien ces circuits sont assez délicats à régler, ou bien ils demandent l'utilisation de transistors encore trop rares ou trop difficiles à se procurer.

Ils n'ont donc pas été présentés pour ces diverses raisons. Afin de maintenir à zéro l'entrée du circuit, le transistor régulateur Tr_1 est utilisé, chargé par une résistance de 5,6 à 5,8 kOhms et un trimmer en série de 2 kOhms.

Ce circuit de régulation, dans lequel passe un courant moyen de 0,9 mA, permet, par réglage du trimmer de 2 kOhms de parfaire le zéro à l'entrée (réglage à faire si possible avec une résistance d'entrée de 40 Ohms remplaçant le phonolecteur, ceci pour plus de sécurité).

Le transistor Tr_2 est polarisé par la résistance de 6,2 kOhms et chargé par une résistance de 2,4 kOhms, laquelle détermine le gain, qui, pour le présent circuit,

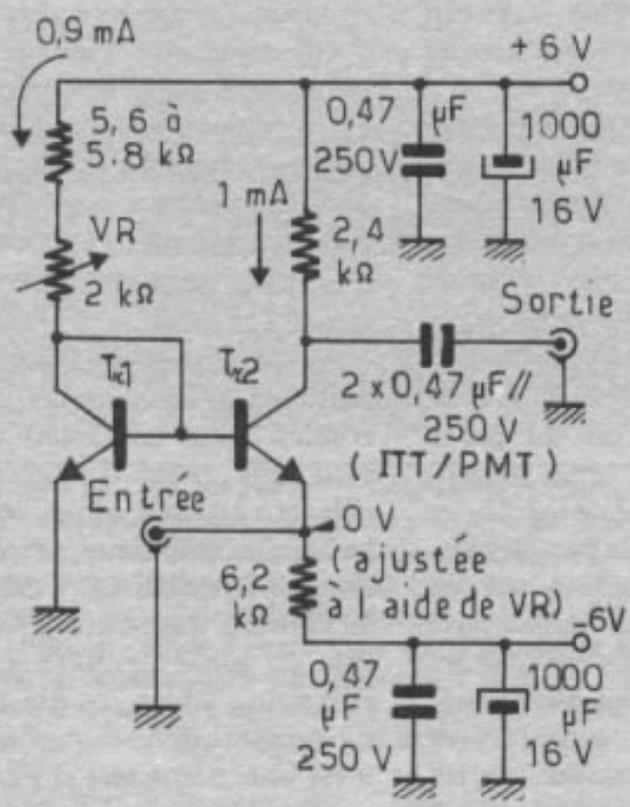


Fig. 5 : Un nouveau circuit pré-préamplificateur utilisant des transistors bipolaires.

- VR (trimmer 2 kOhms, genre Cosmos RA 12P)
- Résistances : 1/2 W, film métallique ou tantale 1%
- 1000 μF 16 V, Electrochimique
- 0,47 μF 250 V (alimentation : ITT/PMT 250 V)
- Transistors : paire 2SC 1775A (Hitachi)
- Prises d'entrée et sortie : prendre si possible des prises à isolement stéatite ou téflon.
- Soudure recommandée : multicolore « Savbit »

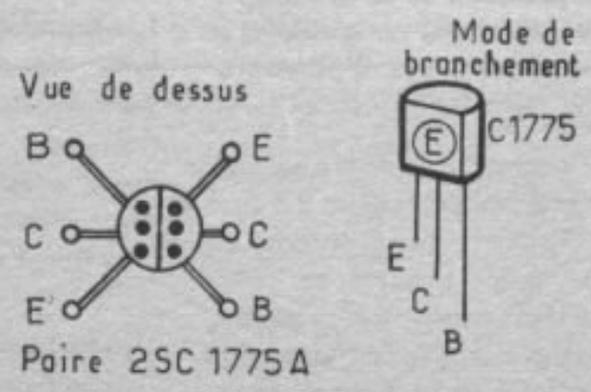
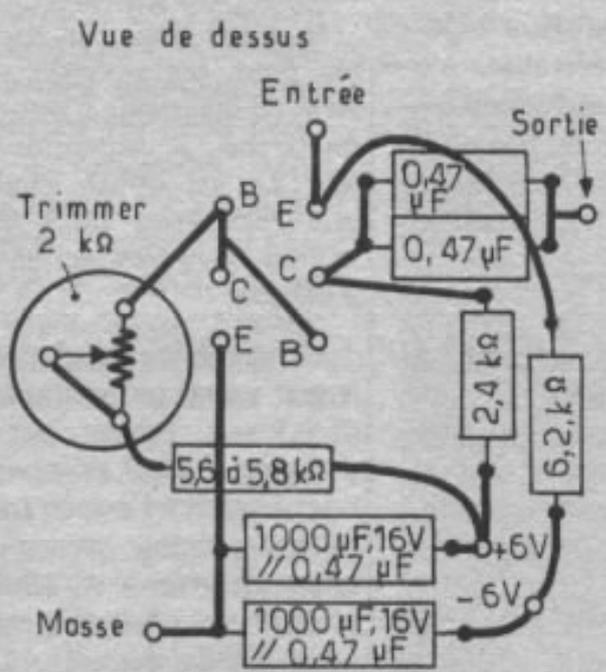


Fig. 6 : Schéma de câblage du circuit décrit. Les transistors sont collés ensemble (colle cyanolite). L'ensemble est vu de dessus. Le mode de branchement des transistors est indiqué séparément.

est fixé à une valeur moyenne de 26 dB, valeur choisie pour une bonne adaptation en gain vis-à-vis des diverses cellules et phonolecteurs.

Malheureusement, le collecteur du circuit ne peut pas être relié directement à la sortie (ceci exigerait un circuit beaucoup plus compliqué et risquant d'autre part des dérives en continu en sortie).

Ainsi, le condensateur de sortie, coupant le courant continu et ne laissant passer que le signal audio, a pour valeur 1 μ F. Il est formé de deux condensateurs de 0,47 μ F en parallèle d'origine ITT PMT, isolement 250 V. Sur les corps de chacun d'eux, du vernis « Super Black » est utilisé (très efficace sur ces condensateurs). Le choix de la tension d'isolement de 250 V dans la série PMT vient du résultat subjectif obtenu. La « transparence du son » dans la zone médium-aiguë pour les séries ITT dépend de la tension de service : 100 V, 250 V, 400 V et 630 V.

C'est la série 250 V PMT (polyester) qui donne le meilleur résultat. Quant au traitement anti-statique « Super Black », il améliore la qualité de l'aigu (en particulier les « s » pour la voix), en raison d'une réduction de la distorsion par harmonique 3. A propos de ce « Super Black », ce traitement bien curieux n'a rien d'étonnant aux yeux de techniciens travaillant dans la mesure ou la réalisation de circuits intégrés, domaine dans lequel la formation parasite d'électricité statique est un problème majeur exigeant jusqu'à des vêtements, des tapis, des tables dont le revêtement est anti-statique. Dans un condensateur, au moment des variations de la charge (qui se forment dans

le diélectrique et non sur les armatures), apparaît un champ électrostatique stagnant dans toutes les parties isolantes du condensateur. Le revêtement conducteur, à base de carbone « Super Black », évite cet effet gênant (et audible) pour lequel la charge électrostatique peut devenir très élevée. Pour de très faibles signaux son importance est donc très grande. Notons que cet effet ne se produit pas, par exemple, sur des fils de liaison nus, donc sans gaine isolante, où le champ magnétique et électrostatique ne peut former de charge électrostatique stagnante, vu que le fil ne comporte pas de partie isolante. Mais ceci ne représente qu'une partie des cas rencontrés dans le câblage. Pour les autres cas, le « Super Black » est très efficace.

Pour en revenir au circuit préamplificateur, c'est donc un circuit aussi simple que le circuit Maki, à la seule différence qu'un transistor régulateur est utilisé afin de supprimer le risque de dérive en entrée. Il apporte d'autre part un supplément de stabilité dans l'image stéréophonique et des sons graves de grande propreté, associés à un bon équilibre sonore général. Noter qu'il n'est pas nécessaire de monter en parallèle d'autres condensateurs (mica, etc...) si les condensateurs décrits ci-dessus sont utilisés.

L'alimentation

L'alimentation utilisée est de type symétrique, soit + 6 V et - 6 V. La consommation par canal est de 2 mA. On peut utiliser soit de grosses piles, soit des batteries rechargeables de petite taille.

Sur ce circuit, il n'a pas été essayé de « grosse alimenta-

tion », mais il est certain qu'une telle alimentation à grosses capacités devrait donner des résultats encore supérieurs, quoique la présence du régulateur Tr₁ devrait, théoriquement du moins, rendre le circuit insensible à de telles influences.

Transistors

Les transistors utilisés sont les modèles 2SC 1775A, de faible bruit, qui sont d'ailleurs utilisés sur l'amplificateur 20 W. Noter que l'on peut les remplacer par d'autres transistors NPN de faible bruit et de Hfe identique. Le choix a été porté sur ce transistor pour une raison principale de qualité subjective, la paire complémentaire 2SC 1775A/2SA 872A étant reconnue (au Japon) comme celle donnant les meilleurs résultats sur les circuits préamplificateurs de qualité.

Ces transistors doivent si possible être appairés en Hfe, ce qui est facile, vu qu'il s'agit du même type et non d'une paire complémentaire NPN/PNP.

Câblage

La figure 6 montre le schéma de câblage qui peut être réalisé sur circuit imprimé ou encore par wrapping, en laissant ainsi une grande partie des composants reliés entre eux sans support intermédiaire (cosse-relais, circuit imprimé, etc...). Les condensateurs de 1 000 μ F et ceux mis en parallèle doivent être placés près du circuit.

Performances

Bien qu'il soit extrêmement simple, ce circuit donne de très bons résultats. Vu la tension d'entrée faible et les bonnes caractéristiques du transistor

**Page non
disponible**

2SC 1775A (figure 7), le taux de distorsion reste très faible, soit moins de 0,02 % (tension de sortie inférieure à 1 Volt). Il donne suivant les cellules utilisées une tension de sortie comprise entre 4 et 12 mV, ce qui convient donc à la plus grande majorité des préamplificateurs. La bande pas-

sante est, elle aussi, très étendue (plus de 300 kHz), ce qui exige des câbles d'entrée bien blindés afin d'éviter tout risque d'interférence radio parasite.

Le circuit décrit, vu sa très grande simplicité, est, lui aussi, d'un prix de revient très intéressant.

Conclusion

Il doit certainement exister d'autres variantes, d'autres circuits à la fois simples, ingénieux et performants et l'Audiophile serait heureux de recevoir ces nouvelles idées. Il est toujours possible de faire mieux.

**Page non
disponible**

Lutte contre les vibrations parasites dans les enceintes acoustiques

2ème partie

Charles Henry Delaleu

Dans le numéro 15, nous avons approché le problème de la lutte contre les vibrations parasites dans les enceintes acoustiques. Dans cette deuxième partie, nous donnons quelques astuces afin de remédier à ces effets néfastes sur la restitution sonore.

Dans l'article concernant l'installation au Victor Hugo durant le dernier Festival du Son, il est fait mention d'un tasseau qui avait été disposé perpendiculairement au tasseau avant-arrière du caisson de grave Onken. Lors de l'écoute, il s'est avéré que cet élément faisait naître des résonances dans la bande (80 - 100 Hz). Cette expérience nous rappelle qu'un simple tasseau ne peut pas venir à bout des vibrations parasites dans la majorité des cas. En effet, l'adjonction d'un raidisseur se traduit le plus souvent par un déplacement de la bande de fréquence, où naît le maximum de vibrations. La caisse étant plus rigide, la fré-

quence de résonance mécanique de l'ébénisterie est donc déplacée vers le haut.

Il est très important, lors de la réalisation d'un coffret, de ne pas confondre raidissement et amortissement. Afin de fonctionner parfaitement, une enceinte doit être acoustiquement la plus rigide possible et, pour ne pas amener une coloration par les vibrations de l'ébénisterie, il est nécessaire d'amortir les parois. Il convient, bien entendu, de distinguer amortissement mécanique (vibration de parois) et amortissement acoustique : charge du haut-parleur (laine de verre, laine de roche, etc.).

ETUDE THEORIQUE

Dès 1883, Rigollot et Chavannon mesuraient les amplitudes vibratoires de plaques et de membranes à l'aide de la méthode de Poggendorff. Dans ce cas, on utilise un petit cône qui est fixé au centre de la surface considérée. Contre la pointe du cône bute un miroir de verre mince, collé sur un fil de platine.

Par réflexion sur le miroir, on regarde un point lumineux dans une lunette à oculaire micrométrique. La longueur de l'image est proportionnelle à l'amplitude de la vibration de la membrane.

Mais, l'étude la plus connue est celle de Chladni, qui propose

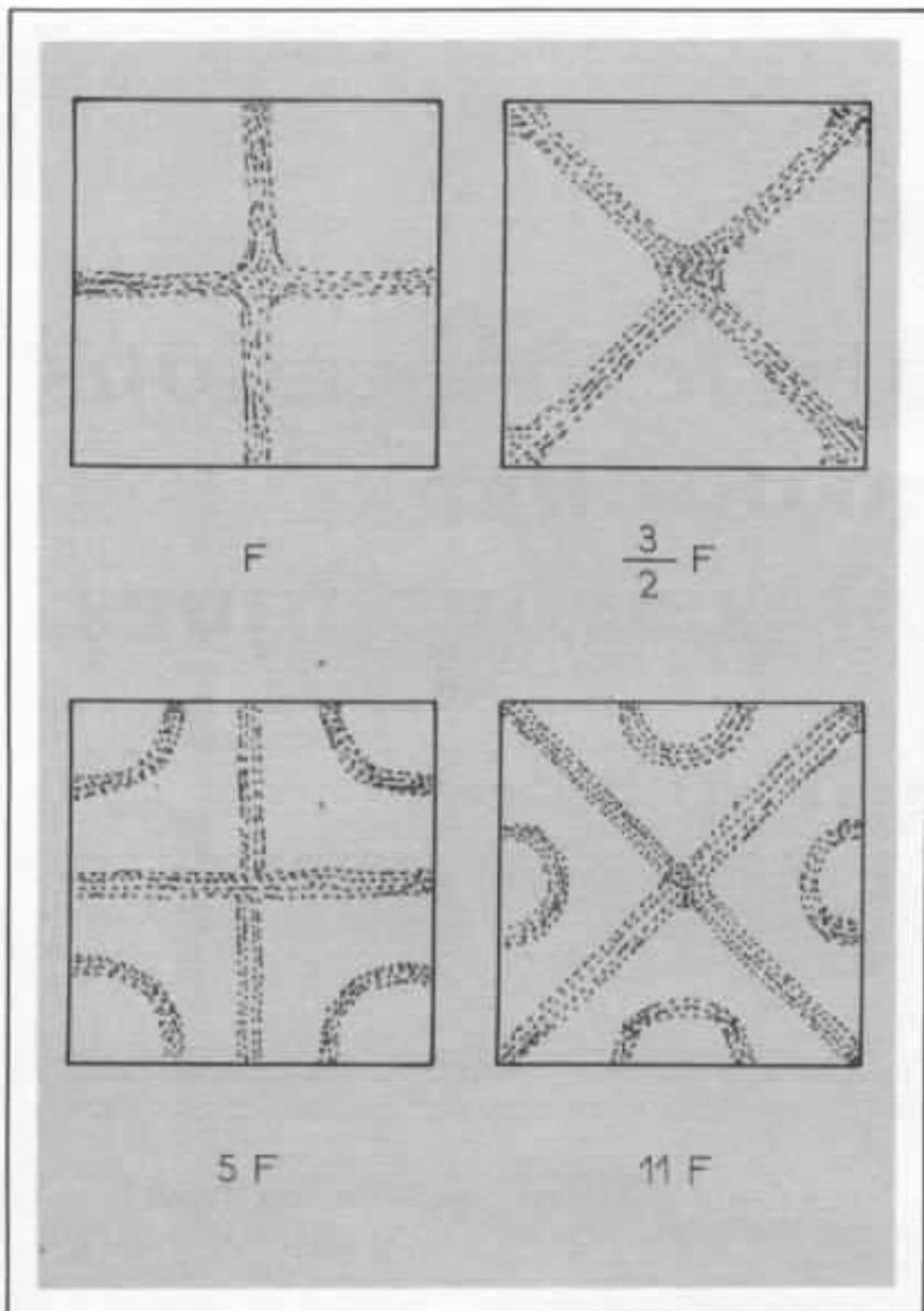


Fig. 1: Figures de Chladni, une plaque saupoudrée de sable fin est excitée par un archet. Nous apercevons les lignes nodales correspondant aux nœuds et aux ventres de vibration.

une autre solution de visualisation des phénomènes vibratoires. Une plaque est immobilisée par des supports, elle est mise en vibrations transversales par frottement, au moyen d'un archet. La plaque est préalablement saupoudrée de sable fin. Lorsqu'elle vibre aux points où le déplacement présente des nœuds, des lignes nodales régulières se dessinent. On obtient de telle sorte

des « figures de Chladni » (fig. 1).

La fréquence (fondamentale) est proportionnelle à l'épaisseur de la plaque e et inversement proportionnelle à sa surface S .

Mesures

Il est possible, à l'aide des instruments de laboratoire Bruel et Kjaer, d'observer l'amortisse-

ment des parois d'un coffret avec le montage proposé (fig. 2). Un accéléromètre est fixé sur l'un des côtés de l'ébénisterie. Une bille de métal vient frapper l'enceinte. Le signal reçu est visualisé sur l'écran d'un oscilloscope.

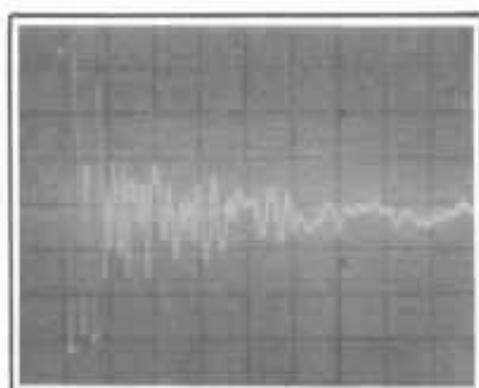
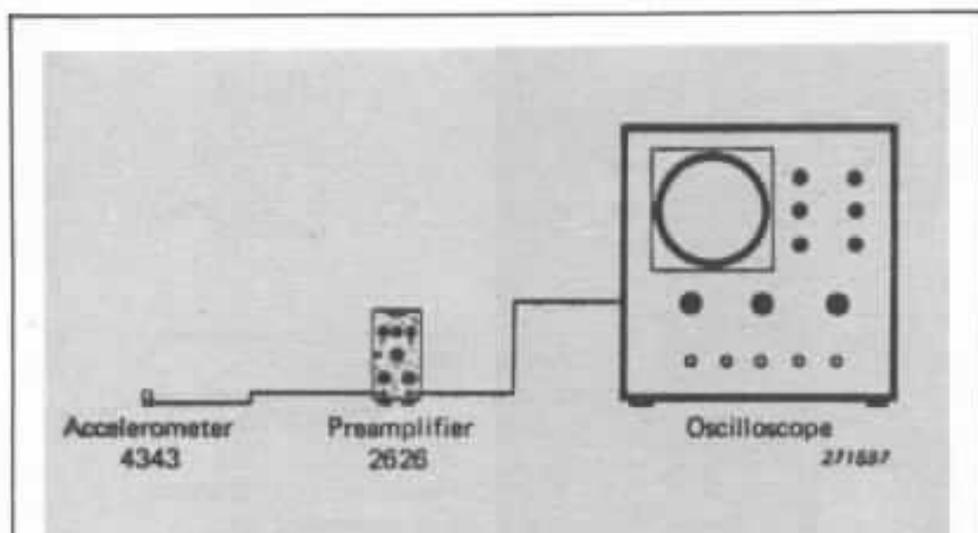
L'expérience la plus couramment utilisée consiste à injecter aux bornes de l'enceinte une fréquence glissante. Le niveau des amplitudes des vibrations est capté par un accéléromètre, puis mémorisé sur un enregistreur graphique (voir fig. 3.)

Dans ce cas, ce n'est pas l'amortissement propre aux parois qui est mesuré, mais l'amplitude des vibrations sur une bande de fréquence s'étalant de 20 Hz à 20 kHz.

Ces diverses méthodes ne procurent que des informations en un point déterminé de l'enceinte. Dans le cas d'une étude plus large, nous sommes obligés d'utiliser d'autres solutions.

S'il ne s'agit que d'une simple observation du phénomène et d'une localisation de lignes nodales, la solution la plus aisée est celle décrite dans la première partie de cette étude, dans l'Audiophile n° 15.

Grâce aux récentes méthodes d'investigation, il est possible d'utiliser la thermographie ou la spectrographie par laser. Sur la figure 4, nous pouvons observer une mesure par thermographie. Les avantages de tels systèmes font qu'il est possible d'étudier les phénomènes vibratoires sans perturber la mesure par le positionnement d'un accéléromètre sur l'ébénisterie. On peut aussi observer la réaction mécanique du boîtier dans son ensemble. D'après la vitesse d'émissivité des matériaux constituant l'enceinte, il est très facile de



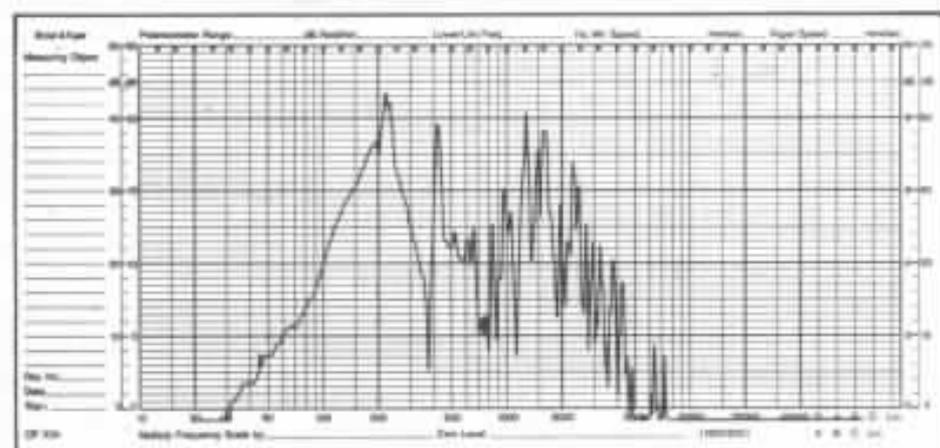
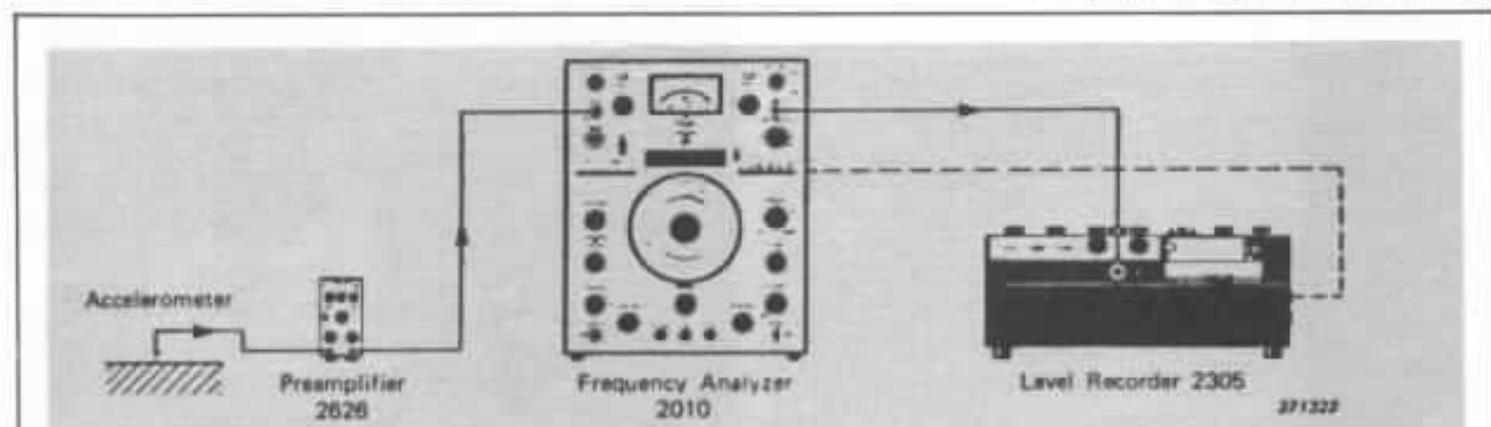
*Fig. 2 : Excitation d'un coffret d'enceinte par choc.
a) Système de mesure
b) Signal reçu sur un oscilloscope à mémoire.
Il est possible d'étudier l'amortissement mécanique d'une enceinte.*

quantifier les phénomènes vibratoires.

Il est donc possible maintenant de travailler dans de très bonnes conditions, le problème des perturbations vibratoires des coffrets d'enceintes acoustiques.

Réalisation d'une enceinte élaborée en tenant compte des phénomènes vibratoires

L'émission acoustique des enceintes doit se faire uniquement par la membrane des haut-parleurs ou par des systèmes de décompression, un évent dans le cas d'un bass reflex, par exemple. Par contre, toutes propagations acoustiques émises par les parois sont à éviter. En effet, l'enceinte constitue la charge acoustique d'un haut-parleur, mais non un transducteur. La qualité de fabrication d'un coffret est beaucoup plus importante que l'on pourrait le penser de prime abord. Le choix des



*Fig. 3 : Excitation d'un coffret d'enceinte acoustique par fréquence glissante.
a) Système de mesure.
b) Signal reçu sur un enregistreur graphique.
Il est possible d'étudier le niveau des vibrations mécaniques.*

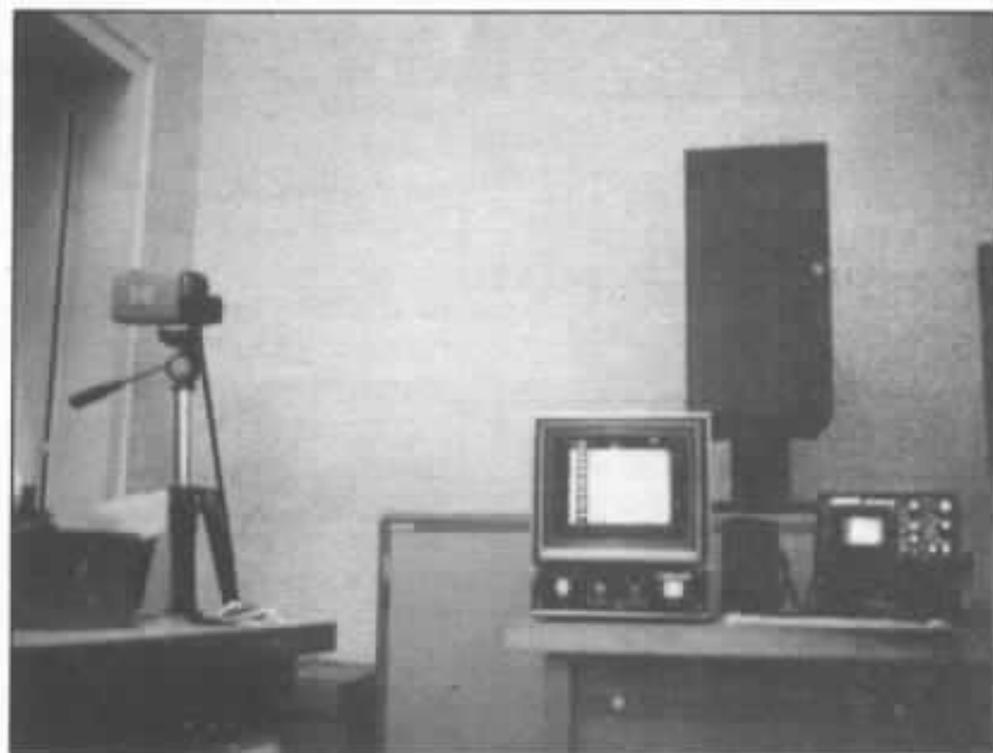
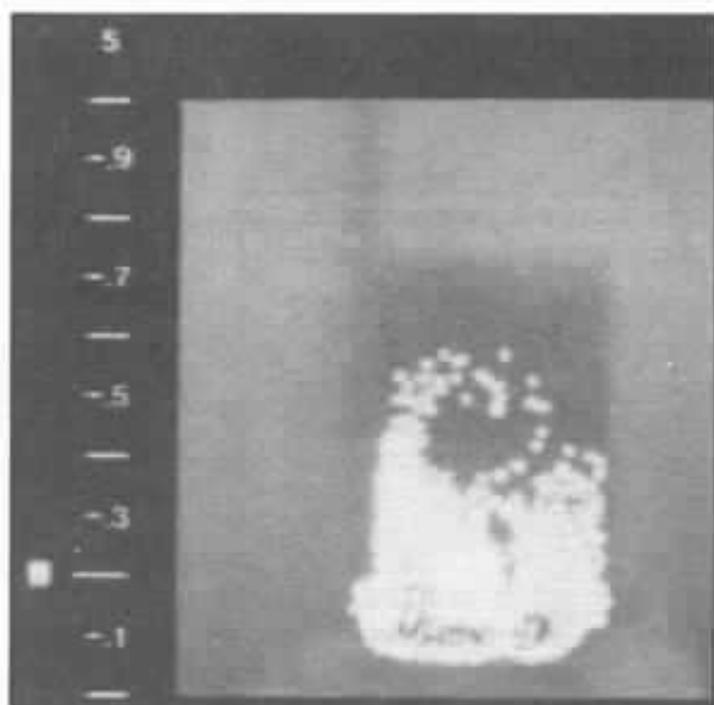
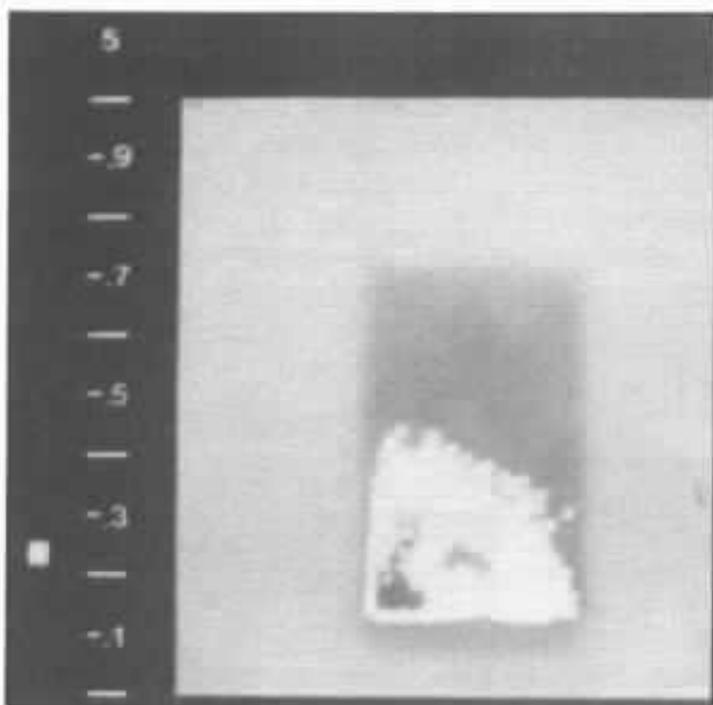


Fig. 4 : Thermographie d'une enceinte. Grâce à la thermographie, il est possible d'observer le comportement vibratoire d'une enceinte sur toutes ses surfaces en même temps.
a) Système de mesure.
b) Enceinte au début de l'essai (fréquence de 100 Hz).
c) Enceinte au bout de 2mn de fonctionnement.
Doc. Laboratoire SIARE.



matériaux à utiliser est très délicat, ainsi que la façon de les mettre en œuvre. Dans la deuxième partie de cette étude, sera décrite une réalisation qui pourra servir d'exemple pour la confection d'enceintes à réaliser soi-même.

Il sera possible de scinder en deux cette enceinte : d'une part le caisson de grave, d'autre part la partie médium-aiguë. En

effet, le caisson de grave, bien que facilement réalisable, est d'un poids respectable mais peut-être inacceptable pour certains. De toute manière, l'audiophile perfectionniste ne s'arrêtera pas à une considération de cet ordre et ne verra que l'efficacité de l'ensemble. La partie médium-aiguë pourra s'adapter à tout système.

Il faut compter environ 100 à 150 kg par enceinte, dans le cas d'une réalisation similaire à l'exemple donné.

Les avantages de telles réalisations sont les suivants : un timbre plus fidèle, une meilleure dynamique, des sons plus fins et plus aérés, une meilleure définition et un grave plus ferme.

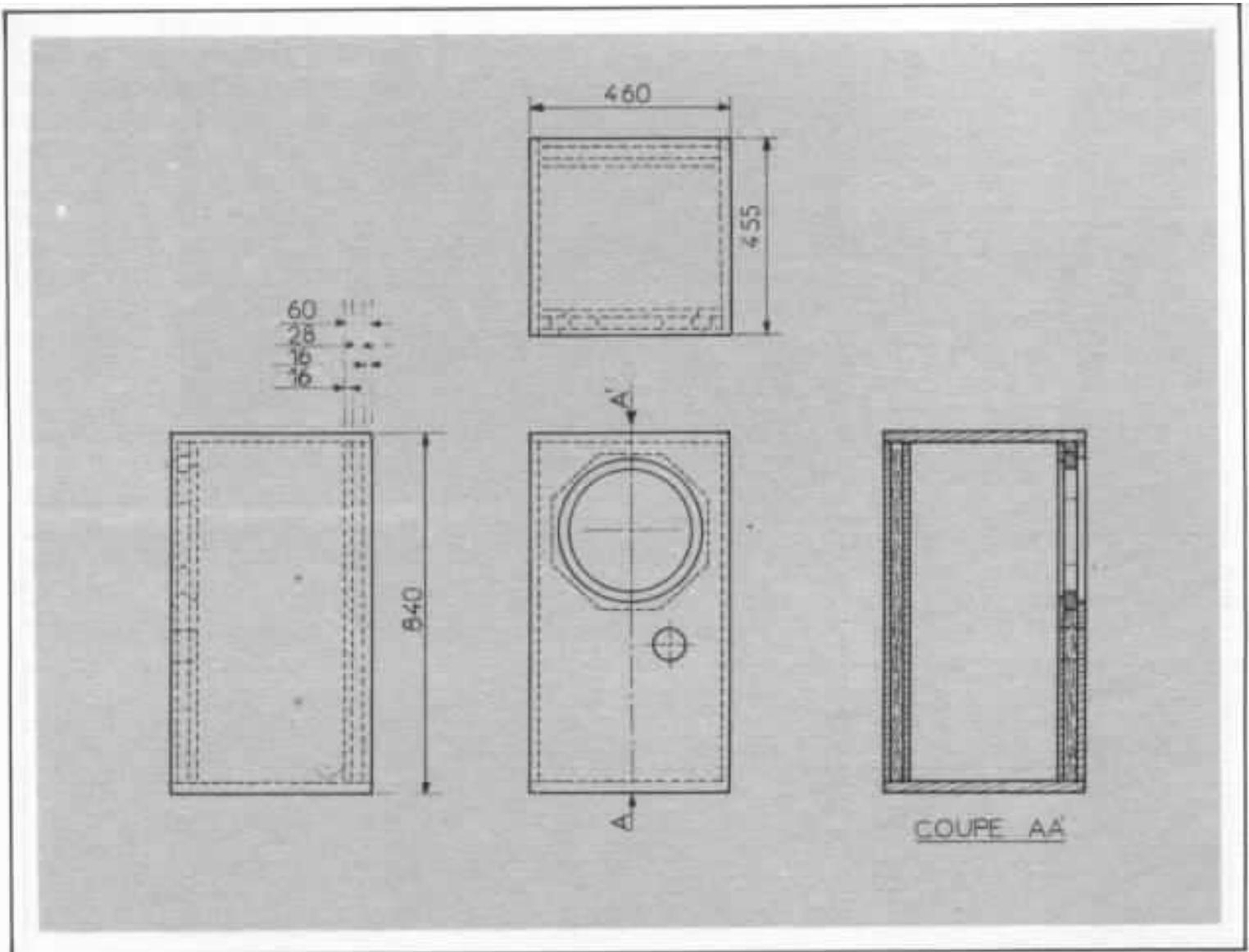


Fig. 5 : Caisson de grave. Noter coupe AA' le positionnement du béton.

Le caisson de grave

Il s'agit d'un bass reflex utilisant un 31 cm résonnant à 26 Hz et ayant un coefficient de surtension total de 0,38. Les bois utilisés sont : aggloméré pour les faces arrière et avant, contre-plaqué marine pour les côtés et latte pour le dessus et le dessous.

Le caisson est représenté en figure 5. Pour les faces avant et arrière, une couche de béton est injectée entre deux feuilles d'aggloméré, (voir fig. 5 et 6). Entre celles-ci sont positionnés de petits tasseaux donnant l'écartement entre les deux planches. Ils permettent aussi d'accroître la rigidité de l'ensemble. Entre ces tasseaux des vis

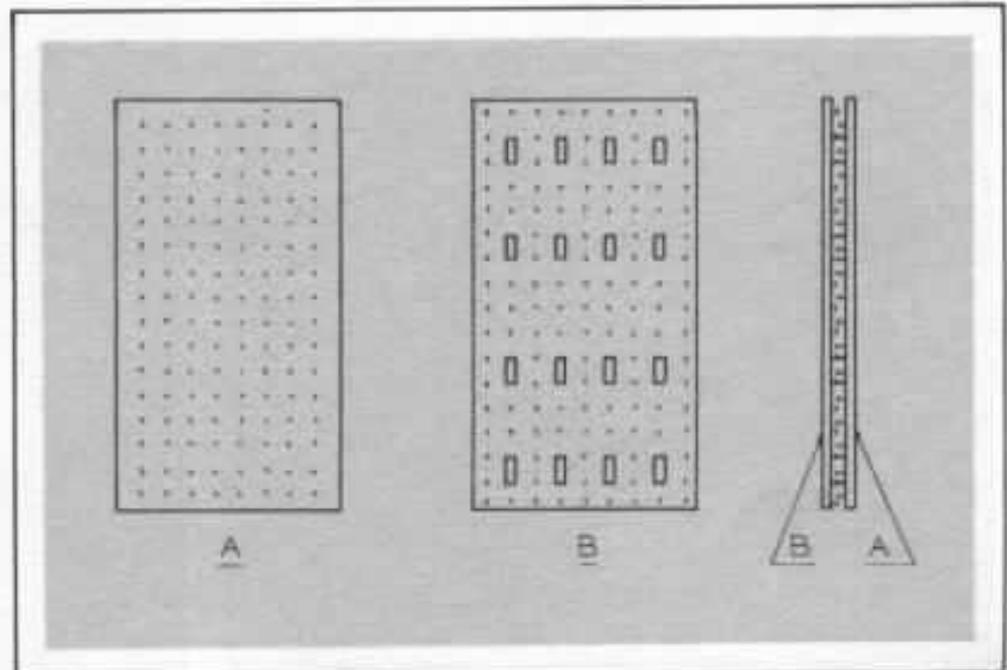


Fig. 6 : Caisson de grave, éclaté de la face arrière. Noter la position des vis représentées par des croix tous les 5 cm, 16 petits tasseaux de 28 x 28 relient les deux panneaux entre eux.

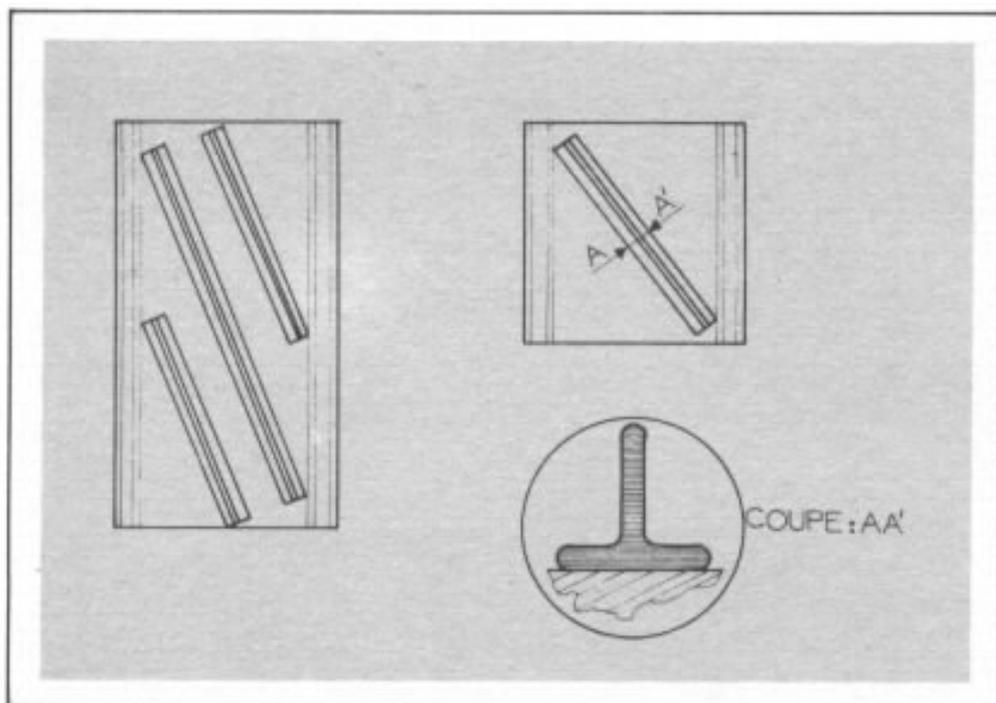


Fig. 7 : Position des T en fer, à gauche sur les côtés, à droite sur le dessus et le dessous. Les T sont collés à l'araldite.

sont placées tous les 5 cm. Elles ne sont enfoncées que sur leur demi-longueur et autorisent une meilleure adhérence du béton sur les feuilles d'aggloméré. Sur les côtés, le dessus, et le dessous (à l'intérieur de l'enceinte) sont fixés des T en fer de 60 × 60, (voir fig. 7). Ces T donnent une meilleure rigidité à l'ensemble. En dernière partie toutes les faces internes sont revêtues d'une couche de blackson de 1 cm d'épaisseur, chargé de particules de plomb.

Le béton et les T en fer permettent d'obtenir une meilleure rigidité, ainsi qu'un amortissement dans l'extrême grave. Le blackson amortit l'enceinte dans

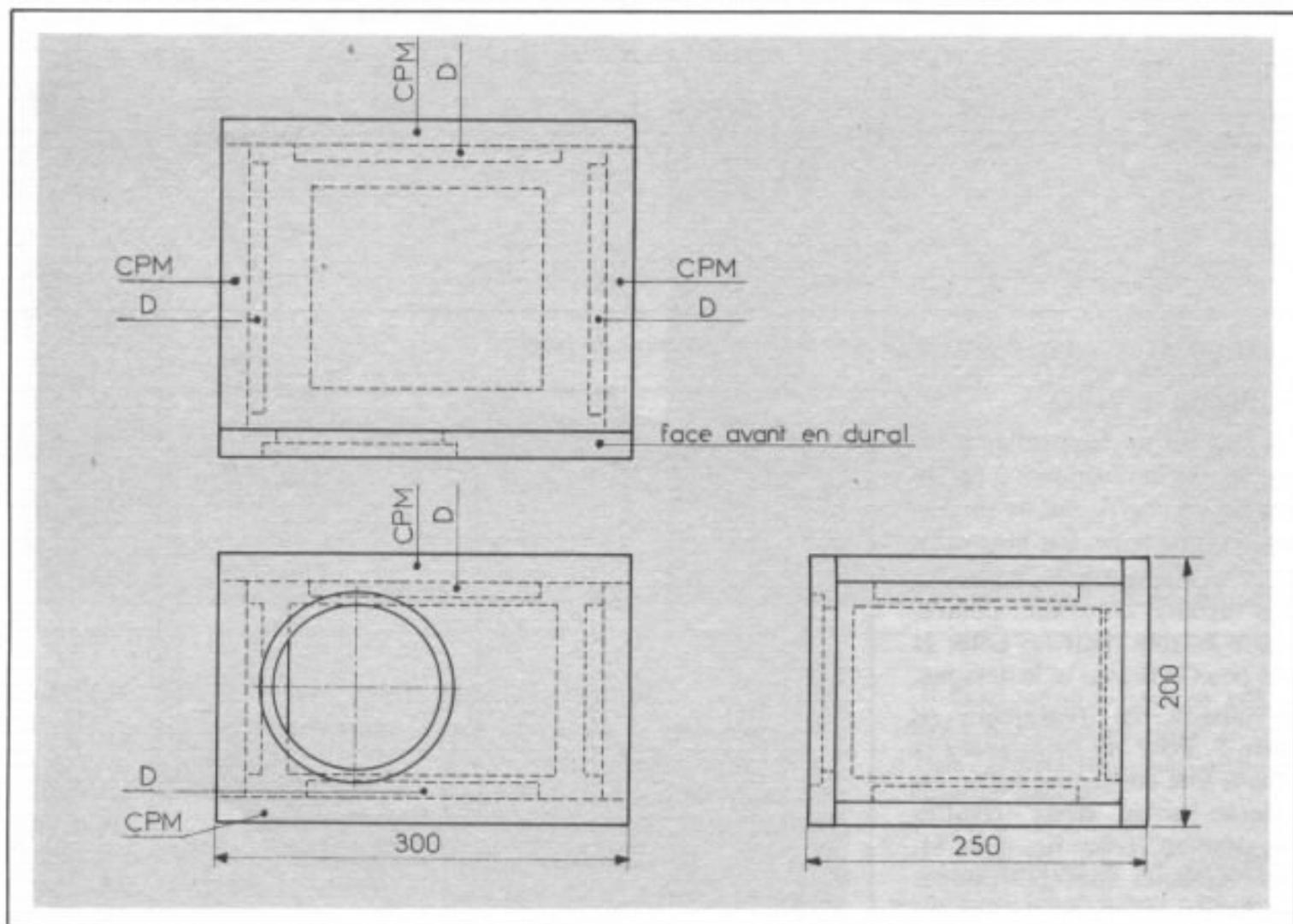
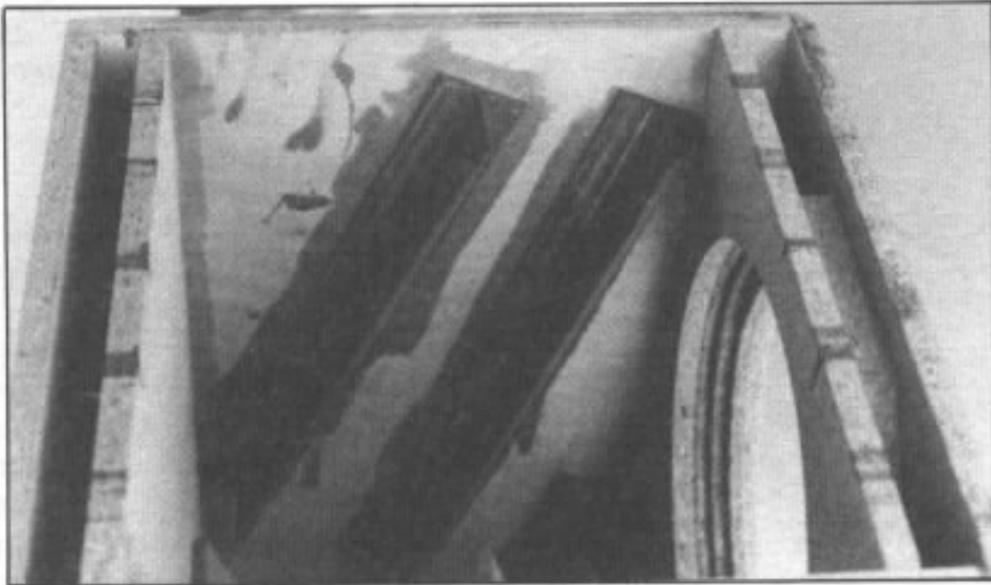


Fig. 8 : Caisson de médium, la face avant est en dural.

D = dural, CPM = contre-plaqué marine.

L'intérieur est enduit d'une couche de 5 mm de blackson chargé avec des particules de plomb. Le caisson est ensuite recouvert d'une feuille de plomb.



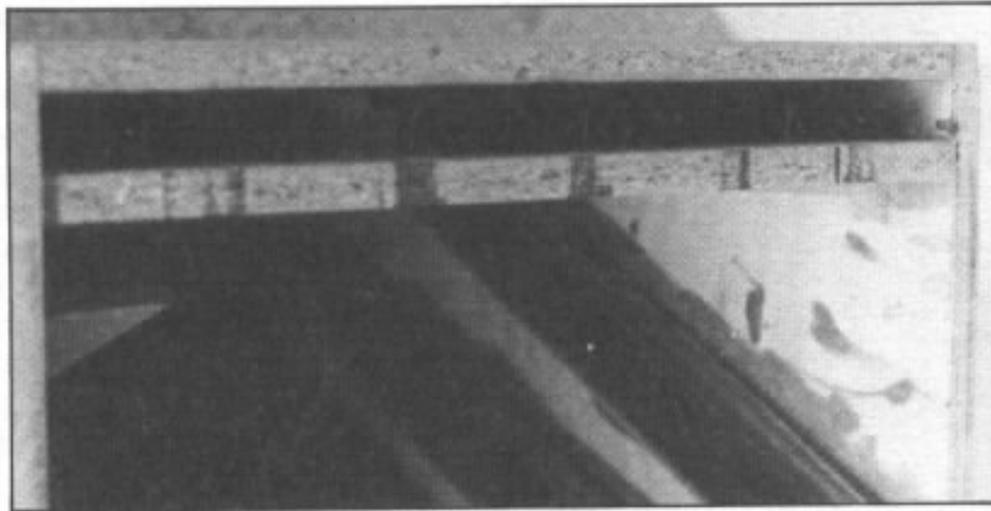
1 Remarquez la face avant et arrière formant le moule pour le béton. Notez la position des T en métal

2 Remarquez entre les doubles parois de la face arrière les vis disposés tout les 5 cm

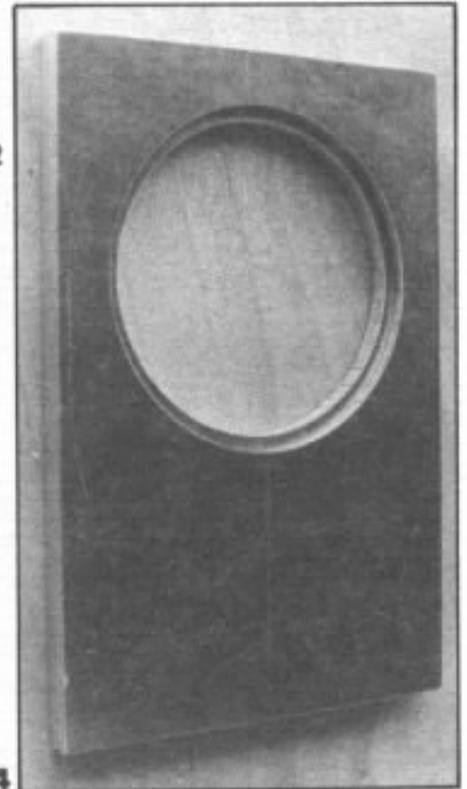
3 T en métal pour les renforts

4 Face avant en dural du compartiment médium

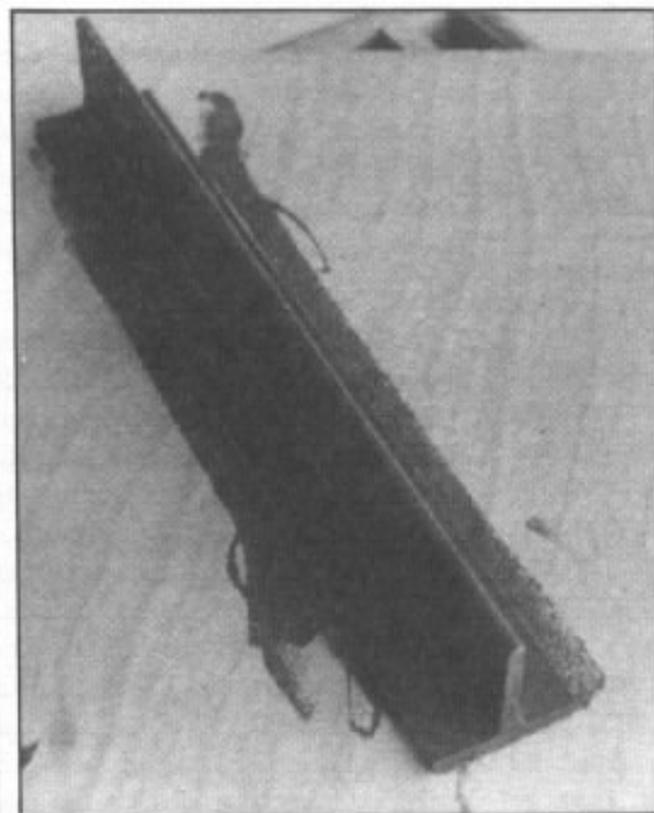
5 Côté du compartiment médium doublé par une feuille de dural



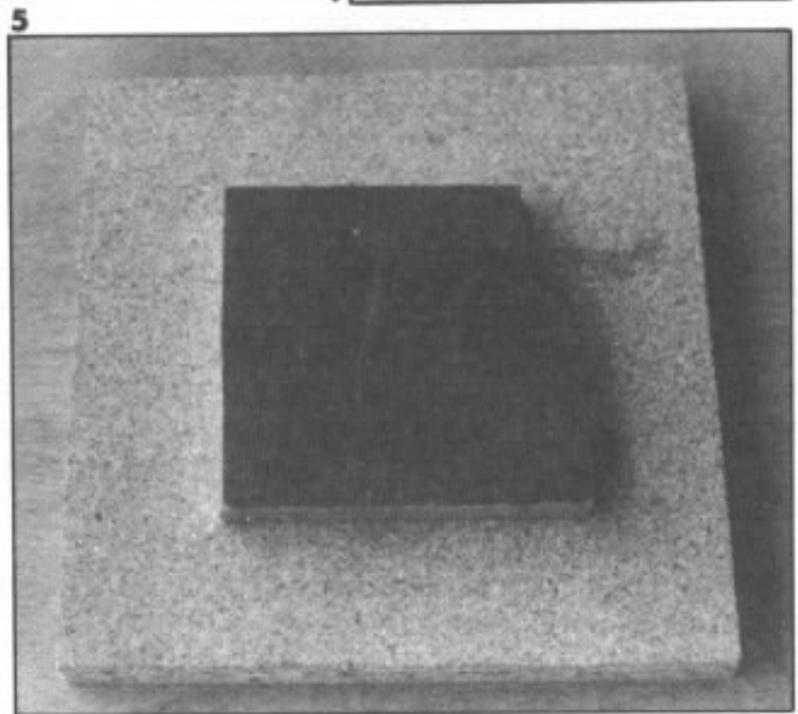
2



4



3



5

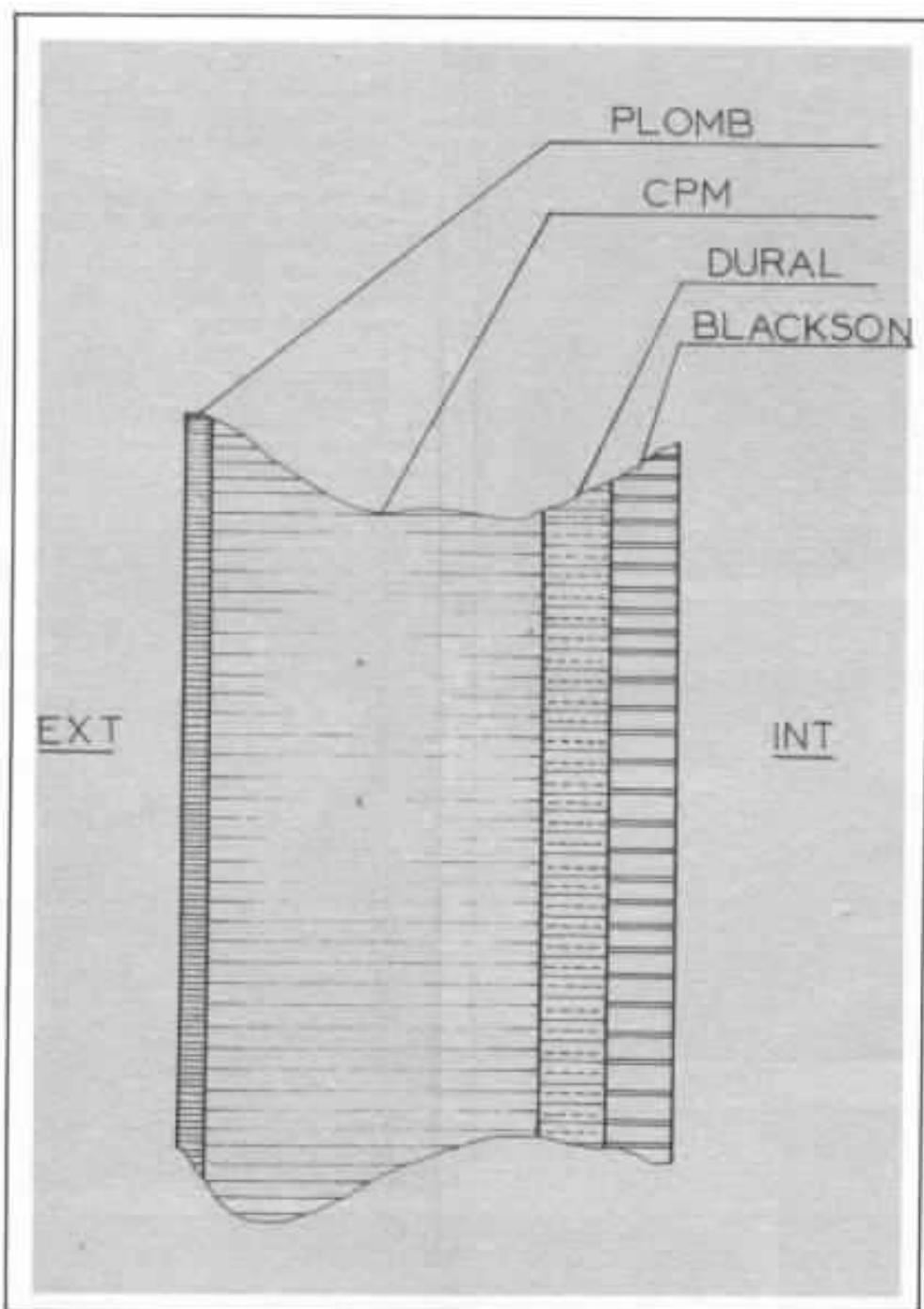


Fig. 9 : Coupe d'une des parois du caisson médium, noter la structure sandwich des différents matériaux.

le haut grave et le bas médium. Ainsi, il est possible d'avoir une ébénisterie qui ne se transforme pas en accordéon, et qui ne vibre pas aux fréquences supérieures.

Le compartiment médium

La face avant est réalisée en dural, les autres côtés en contre-plaqué marine de 25. Sur les cinq côtés en bois sont contre-collées des petites plaques de dural. L'enceinte est intérieurement

complètement enduite de blackson chargé au plomb sur une épaisseur de 5 mm (fig. 8). Le coffret est recouvert extérieurement d'une couche d'un millimètre d'épaisseur de plomb (le plus simple est de coller le plomb en feuilles) (fig. 9).

Lorsque l'on frappe du doigt le compartiment médium, aucune vibration ne doit se manifester, le son est mat et s'amortit aussitôt. Il est souhai-

table de percer des trous de décompression sur la face avant, soit environ 9 orifices de 10 mm diamètre.

Le compartiment aigu

Les vitesses d'accélération d'un équipement modèle d'un tweeter étant considérable, l'assise du transducteur doit être la plus lourde possible. De plus, les tweeters sont assez sensibles aux vibrations. En effet, si l'on considère l'amplitude de l'équipage mobile qui est très faible, la moindre vibration vient perturber le fonctionnement en régime transitoire.

La solution la plus efficace semble être un cube en matériau très dense et rigide, de taille correcte pour représenter une certaine masse (3 à 5 kg minimum). Dans la réalisation décrite, la facilité s'est tournée vers un cube en béton, coulé dans un petit moule ayant les empreintes du haut-parleur. Ce cube fait 15 cm de côté (fig. 10).

Conseils de montage

Il est très important, lors du montage, de veiller très attentivement à l'assemblage des différents éléments. Pour le montage des haut-parleurs sur les parois, on pourra s'inspirer de la figure 11.

Afin d'obtenir un équilibre tonal optimum, des blocs de mousse absorbante devraient être placés près du tweeter et du médium, afin d'éviter toute réflexion sur les parois des ébénisteries. Les haut-parleurs devront être fortement vissés. On choisira un câble de forte section, type Lucas, Perena ou VGV. Dans le cas d'un filtrage passif, les selfs devront avoir un fil d'une section de 3 mm. Les condensateurs pourront être en

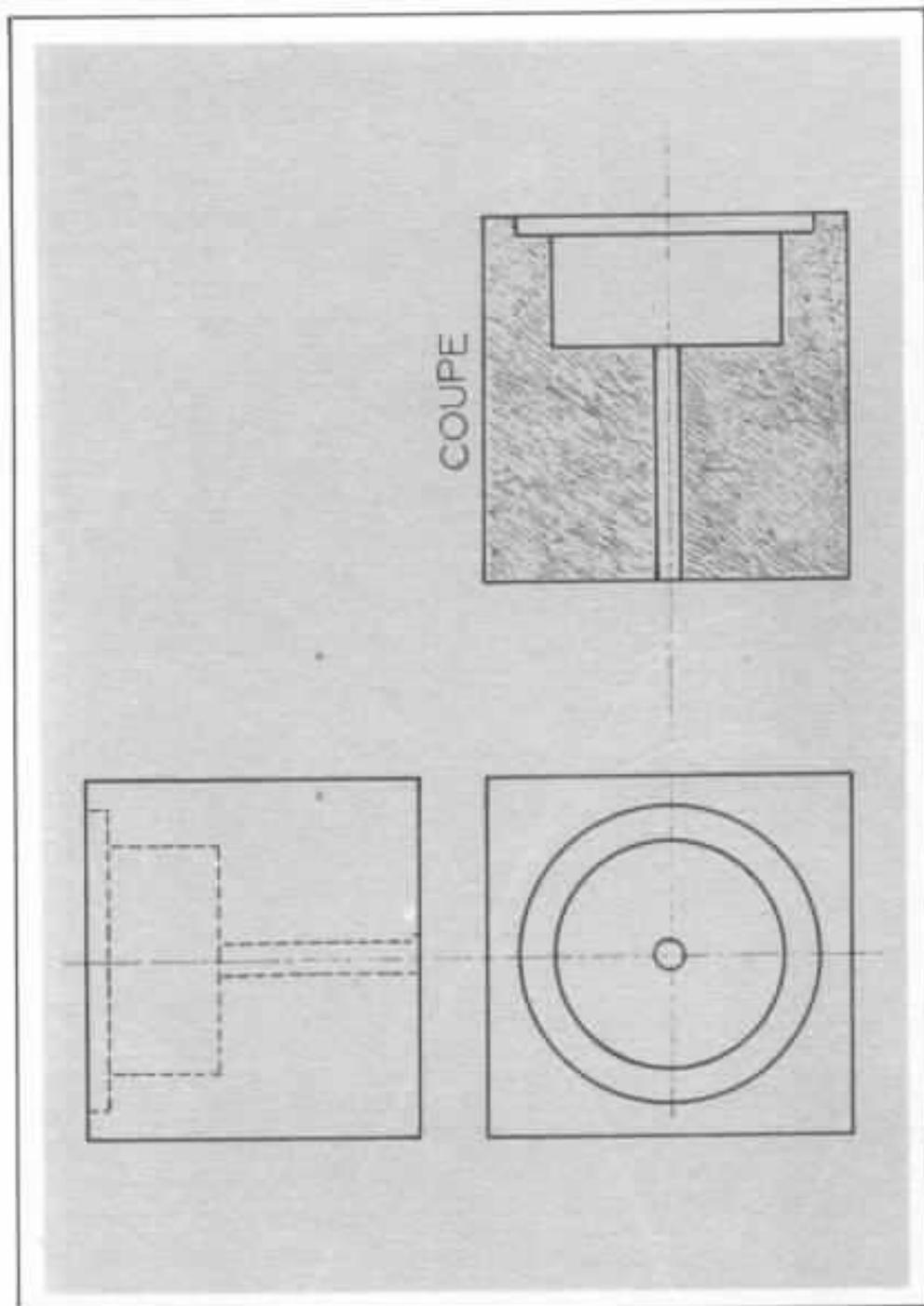


Fig. 10 : Caisson d'aigu. Le cube de béton devra avoir les empreintes du haut-parleur. A l'arrière de celui-ci, on percera un trou afin de passer les fils de branchement.

papier huilé ou ciré. La position des enceintes devra être soigneusement choisie. Il faut éviter les coins et ne pas placer les coffrets près d'un mur. Il est souhaitable de surélever le caisson de grave de quelques centimètres à l'aide de deux madriers, afin de décompresser le dessous de l'enceinte.

Le positionnement des différents compartiments pourra être effectué à l'aide d'un micro,

d'un générateur d'impulsions carrées et d'un oscilloscope. Avec cet appareillage, il est possible d'obtenir une parfaite mise en phase à la position d'écoute. Il ne restera qu'à souhaiter aux personnes n'ayant pas la possibilité d'effectuer ce genre de mesure, une bonne patience pour arriver à obtenir un bon calage à l'écoute.

Cette réalisation a été conçue après de nombreux essais prati-

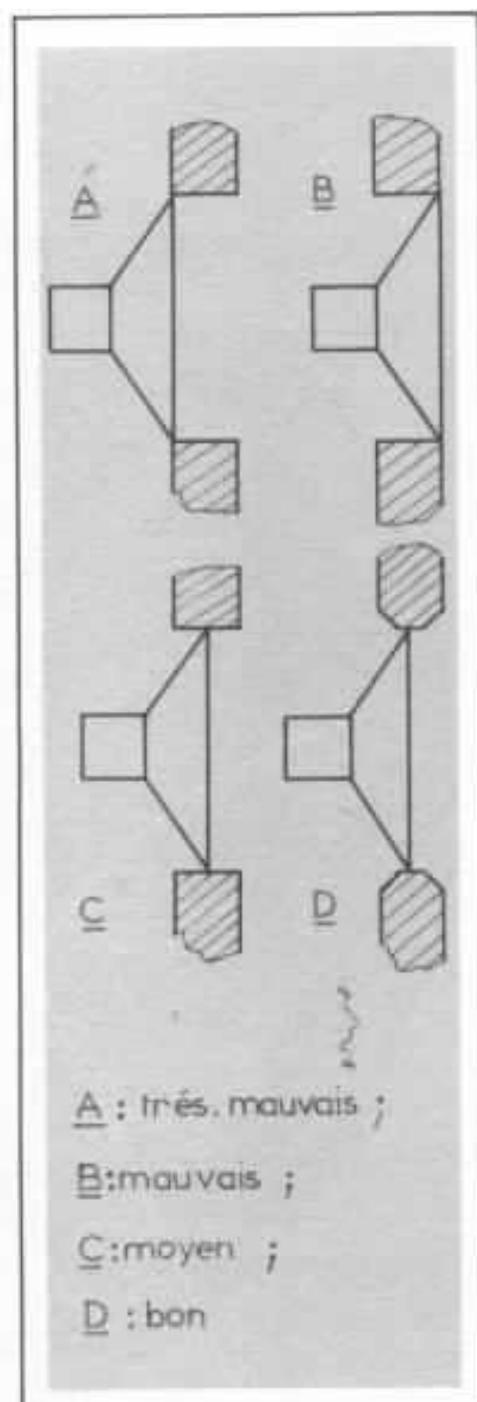


Fig. 11 : Montage d'un haut-parleur sur une paroi.

ques et de longues écoutes. Elle procure des qualités d'écoute très supérieures à la majorité des ébénisteries classiques. L'audiophile perfectionniste trouvera dans un tel système de nombreuses qualités rarement obtenues. Il ne reste qu'à souhaiter bon courage aux personnes qui entreprendront la confection d'enceintes réalisées dans cette philosophie, mais elles en seront largement récompensées.

- A : très. mauvais ;
- B : mauvais ;
- C : moyen ;
- D : bon

**Page non
disponible**

Mise au point des filtres séparateurs passifs

1— Du rêve à la réalité

Guy Marec

Le but de cette étude n'est pas de relancer une fois de plus la polémique sur le choix entre filtre « actif » et filtre « passif ». Il n'est pas non plus d'essayer de prouver qu'une structure dite de « Butterworth », « Bessel », « Thomson » et autre « Larsen » est la seule digne de figurer dans une chaîne qui prétend respecter la musique (nous appelons un peu abusivement filtre « Larsen » un filtre à amortissement $\xi = 1$ étudié dans l'Audiophile n° 10).

Nous nous sommes contentés d'essayer de mettre en évidence les principaux problèmes de circuits rencontrés dans la réalisation des filtres passifs quels que soient leur type, problèmes qui rendent les mises au point difficile pour des amateurs.

Les difficultés rencontrées ont pour origine d'une part l'impédance des haut-parleurs qui est tout ce que l'on peut imaginer sauf la belle résistance de 4,8 ou 16 Ω de nos théoriciens, et d'autre part, l'interaction des cellules de filtrage dans le cas des filtres passe-bande destinés aux haut-parleurs de médium. J. Hiraga, J. Mahul et G. Milot ont déjà abordé ce sujet sans trop entrer dans les détails pratiques qui intéressent les réalisateurs amateurs. Nous allons donc montrer les problèmes que peut

poser la réalisation d'un filtre passif simple à 12 dB par octave d'atténuation limite (filtre du deuxième ordre).

Rappel

Rappelons, pour fixer un vocabulaire et une notation, que la fonction de transfert $T(p)$ d'un filtre est le rapport entre la tension recueillie à la sortie et la tension appliquée à l'entrée :

$$T(p) = \frac{V_s(p)}{V_e(p)}$$

la variable p est un opérateur

mathématique qui en régime sinusoïdal vaut :

$$p = j\omega \quad j = \sqrt{-1}$$

La fonction de transfert est donc un nombre complexe. On la représente habituellement par une courbe d'amplitude qui est l'image de la tension de sortie du filtre et une courbe de phase qui donne le déphasage de la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée. Le filtre du 2^e ordre qui nous intéresse est constitué des éléments suivants :

— des éléments passe-bas de

fonction de transfert :

$$T(p) = \frac{1}{\tau^2 p^2 + 2 \zeta \tau p + 1}$$

— des éléments passe-haut de fonction de transfert :

$$T(p) = \frac{\tau^2 p^2}{\tau^2 p^2 + 2 \zeta \tau p + 1}$$

dans ces relations :

τ = est une constante de temps

ζ = est un coefficient

d'amortissement.

Rappelons aussi que les systèmes du deuxième ordre ont 3 fréquences caractéristiques :

$$f_{pn} = \frac{1}{2\pi \tau}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi \tau} \sqrt{1 - 2\zeta^2}$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi \tau} \sqrt{1 - \zeta^2}$$

nominale du haut-parleur utilisé) le premier filtre a un amortissement $\zeta = 1$ correspondant à un amortissement « Larsen », le deuxième a un amortissement $\zeta = \sqrt{2}/2$ correspondant à un amortissement « Butterworth » bien connu.

La fonction de transfert de ce filtre s'écrit :

$$T(p) = \frac{1}{LC p^2 + p \frac{L}{R} + 1}$$

on voit que :

$$\zeta = \frac{1}{2R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

la fréquence propre non amortie définie par le point d'intersection des deux asymptotes de la courbe d'amplitude.

la fréquence de résonance à laquelle l'amplitude est maximum. Cette fréquence n'existe que pour :

$$\zeta < \frac{\sqrt{2}}{2}$$

la fréquence propre des oscillations du système. Cette fréquence n'existe que pour :

$$\zeta < 1$$

parleur reçoit quatre fois plus de puissance qu'il ne devrait à la fréquence considérée.

Les courbes de phase de ces deux filtres ne sont pas tracées mais présentent les mêmes irrégularités faciles à prévoir. Prétendre comparer subjectivement deux principes de filtres dans de telles conditions semble illusoire ; vouloir préjuger de l'influence de la phase ou du temps de retard de groupe relève de la pure utopie.

Sans trop entrer dans les détails on peut expliquer les deux défauts de ces courbes d'amplitudes réelles des fonctions de transfert :

— le dépassement à droite au delà de l'asymptote à -12 dB/octave est dû à une résonance très amortie de la self du haut-parleur et du condensateur de sortie du filtre. C'est le problème le plus gênant qui donne le plus d'écart par rapport à la courbe théorique.

— le dépassement de l'asymptote horizontale vers 100 Hz est dû à la fréquence de résonance du haut-parleur bafflé (un haut-parleur de grave monté dans un bass-reflex qui donne une résonance haute vers 50 Hz). L'impédance « d'attaque » du haut-parleur à cette fréquence (impédance de sortie du filtre) n'est plus négligeable.

Cette influence de la fréquence de résonance du haut-parleur est mise en évidence de façon plus sensible sur la figure 4 qui donne la réponse en amplitude d'un filtre passe-bande de médium. La courbe « a » est la courbe mesurée sur haut-parleur, son écart à 300 Hz est de l'ordre de 5 dB par rapport à la courbe « b » sur charge résistive. La fréquence de résonance du haut-parleur est de l'ordre de 250 Hz.

Il est possible de supprimer cette

Il est utile d'accorder quelques instants de réflexion à la définition des ces 3 fréquences et à leurs conditions d'existence.

1 - Influence de l'impédance du haut-parleur :

se référer aux fig. 1, 2, 3

L'influence de l'impédance du haut-parleur sur la réponse du filtre est facilement mise en évidence sur les deux filtres passe-bas représentés en figure 1a, et 1b. Les composants ont été déterminés pour une charge théorique de 8 Ω (impédance

Sur chacune des courbes d'amplitudes figures 2 et 3 :

a est l'asymptote horizontale

b est l'asymptote à -12 dB octave

c est la courbe d'amplitude sur 8 Ω résistif, c'est donc la courbe idéale recherchée.

d est la courbe obtenue sur haut-parleur.

Dans les deux cas présentés il est visible que la courbe réelle n'a que peu de rapport avec la courbe théorique. Les écarts mesurés vont de -2 dB à +6 dB ; ne pas perdre de vue que, dans ce dernier cas, le haut-

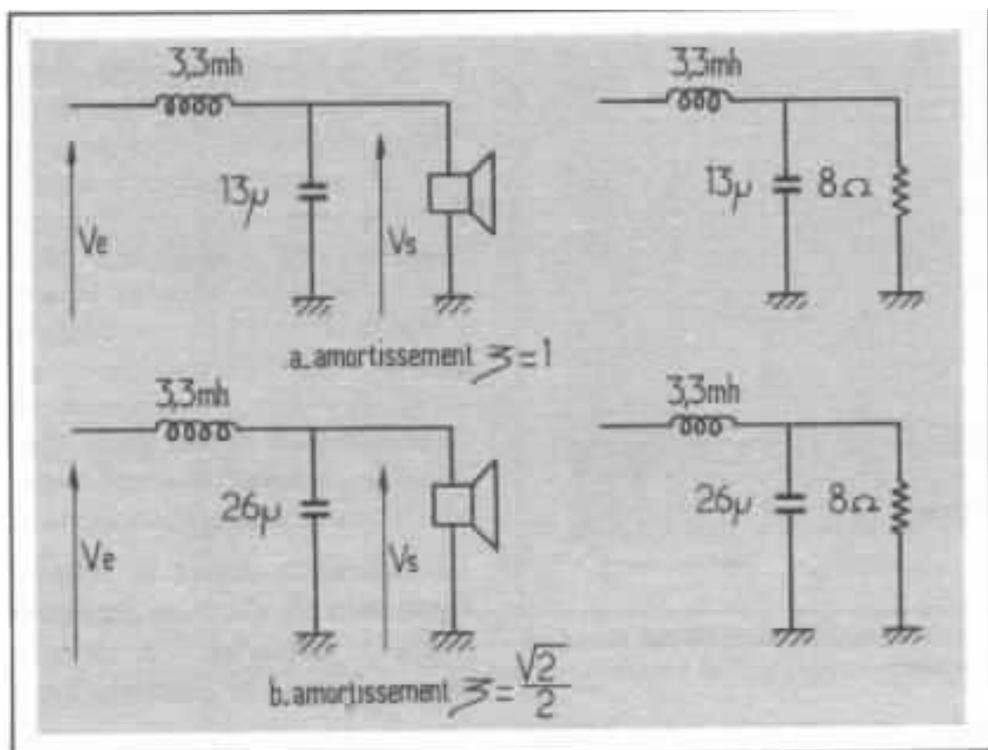


Fig 1 : filtre passe-bas en versions
 a— « Larsen »
 b— « Butterworth »
 la même self a été utilisée pour les
 deux structures, d'où la différence
 des deux fréquences f_{pc} .

Fig 2 : Courbe d'amplitude dans le
 cas d'un amortissement $\zeta = 1$ (type
 Larsen)

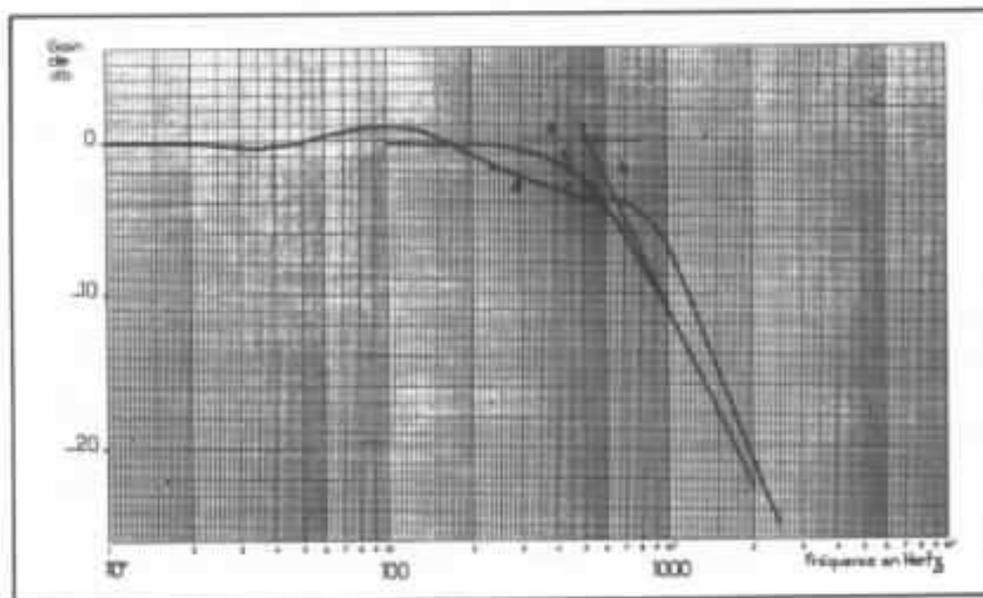
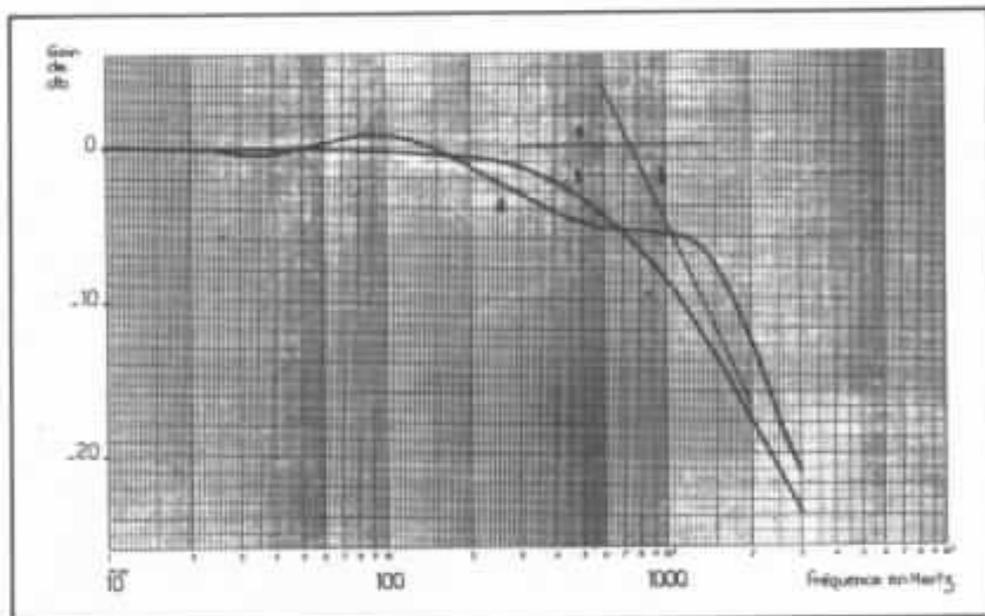


Fig 3 : Courbe d'amplitude dans le
 cas d'un amortissement $\zeta = \frac{\sqrt{2}}{2}$
 (type Butterworth)

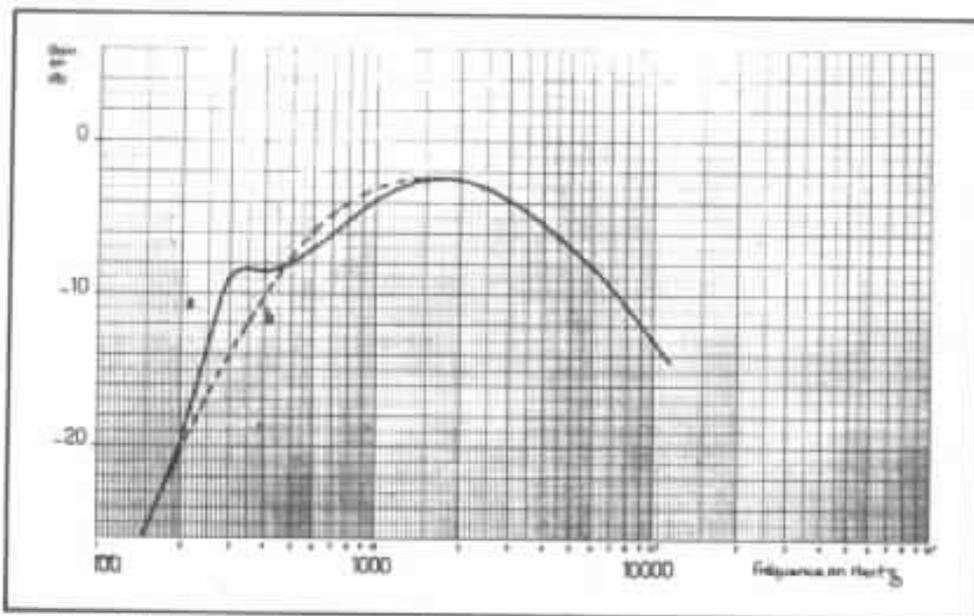


Fig 4 : influence sur la courbe d'amplitude de la fréquence de résonance d'un haut-parleur de médium sur la réponse du filtre

influence de l'impédance du haut-parleur et de rendre la tension aux bornes du haut-parleur pratiquement conforme à ce que l'on recherche. Ces corrections seront détaillées dans la deuxième partie de cette étude. Le problème est de savoir si « subjectivement » elles apportent une amélioration.

2 - Interaction des filtres dans le cas d'un filtre passe-bande :

Se référer aux fig. 5 et 6

Nous prendrons comme exemple un filtre passe-bande à 12 dB par octave sur les deux coupures dont la fonction de transfert devrait être :

$$T(p) = \frac{\tau_1^2 p^2}{\tau_1^2 p^2 + 2\zeta \tau_1 p + 1} \times \frac{1}{\tau_2^2 p^2 + 2\zeta \tau_2 p + 1}$$

Une telle fonction de transfert n'est parfaitement réalisée que si les cellules passe-haut et passe-bas sont totalement indépendantes. Elles sont en pratique réalisées suivant le schéma de la figure 5a. L'élément passe-haut (L_1 et C_1) est « attaqué » sous

une impédance très faible (l'impédance de sortie de l'amplificateur) ce qui est bien, mais il a une impédance de

charge essentiellement variable ce qui est très défavorable. Cette impédance de charge est celle du haut-parleur dans le bas du spectre, elle augmente ensuite indéfiniment avec $L_2 \omega$. L'élément passe-bas est « attaqué » sous une impédance essentiellement variable (L_1 et C_1 en parallèle) ce qui est très défavorable et est « chargé » par l'impédance du haut-parleur donc aussi une impédance essentiellement variable si elle n'est pas compensée.

La figure 5b donne le schéma équivalent du filtre en fonctionnement passe-bas, il devrait théoriquement se limiter à L_2 et C_2 .

Il est facile de concevoir dans ces conditions que la réponse du filtre sera très différente de

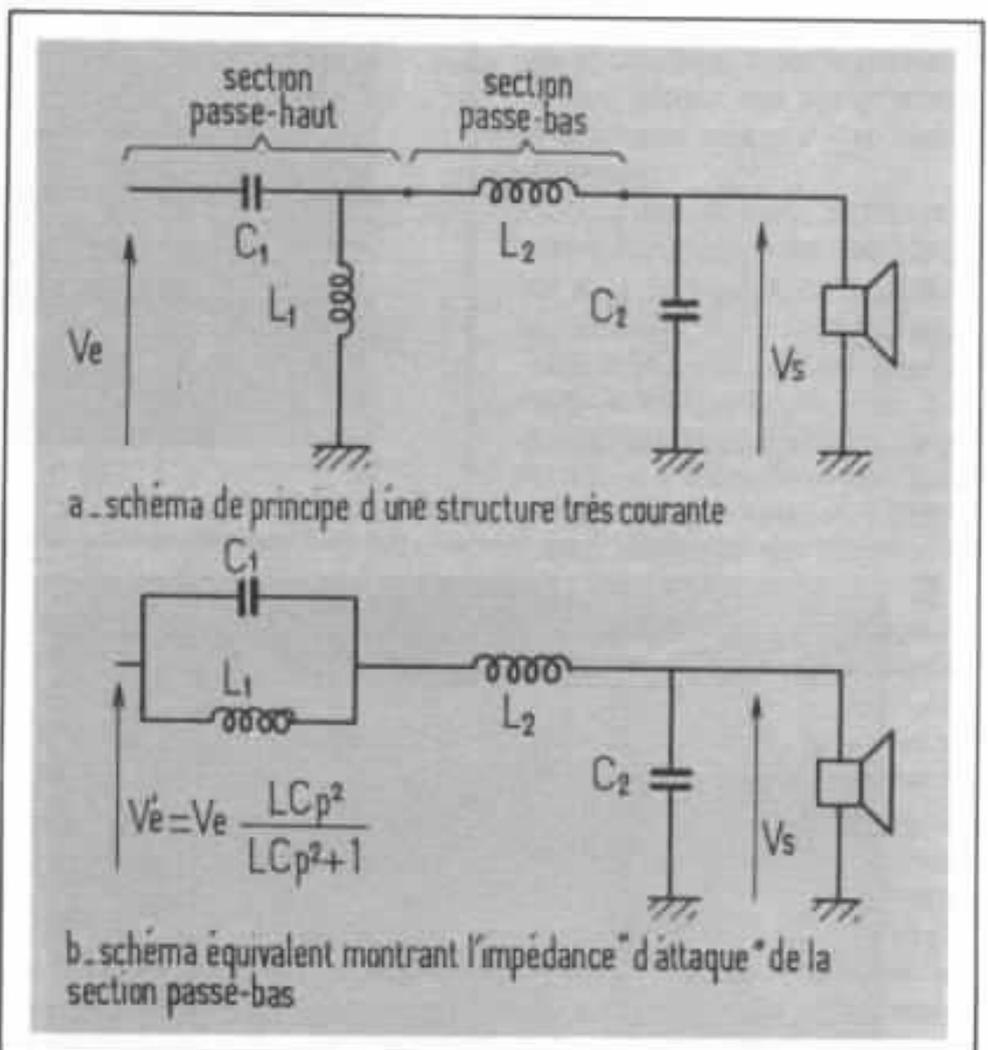


Fig 5 : Filtre passe-bande du 2^e ordre couramment rencontré comme filtre de médium.

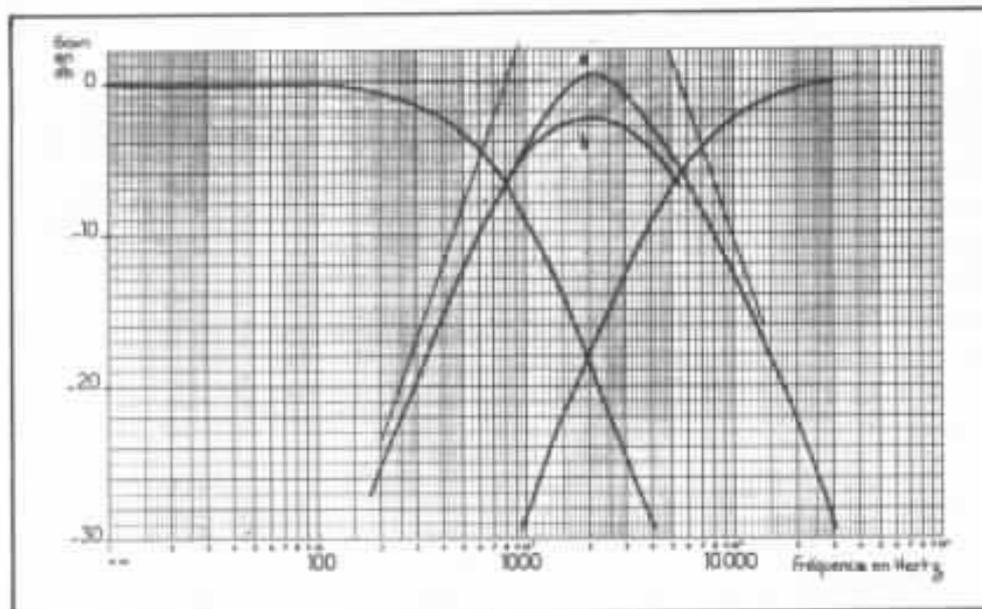


Fig 6 : Courbe d'amplitude d'un filtre passe-bande sur charge résistive a = courbe réelle b = courbe idéale correspondant à la fonction de transfert théorique.

l'idéal recherché. A titre d'exemple la figure 6 donne les courbes d'amplitude d'un filtre 3 voies à 12 dB/octave calculé sur la base d'un amortissement $\zeta = 1$. Les mesures ont été faites sur charge résistive de façon à dissocier l'interaction des filtres de l'influence du haut-parleur. La partie intéressante est la réponse du filtre médium au centre. La courbe « a » est la courbe mesurée et la courbe « b », la courbe théorique correspondant à la fonction du transfert donnée plus haut. On constate que la courbe « a » présente « une résonance » qui la fait passer au-delà de la droite 0 dB et donc 3 dB au-dessus de sa position idéale, dans un registre de fréquences où l'oreille est particulièrement sensible.

Subjectivement cette accentuation sélective du médium est très défavorable au repérage spatial de la restitution. Il est possible, comme nous allons le montrer plus loin, d'améliorer l'impédance de charge de la cellule passe-haut. Il est possible aussi, nous le répétons, de rendre pratiquement constante l'impédance de charge de la cellule

passe-bas. Mais il est impossible « d'attaquer » la cellule passe-bas dans des conditions idéales (impédance très faible). C'est vraisemblablement le seul point, dans ce type de filtres élémentaire bien entendu, sur lequel un système multi-amplifié (à filtre actif) peut théoriquement toujours être supérieur à un système mono-amplifié. Subjectivement,

les améliorations obtenues avec les corrections indiquées sont importantes et permettent une écoute déjà confortable.

Amélioration de la charge de la cellule passe-haut : figures 7 et 8

La première chose à faire, qui est d'ailleurs très employée, est de connecter le filtre passe-haut du tweeter en parallèle sur le filtre passe-bas du médium comme indiqué en figure 7. L'impédance « vue » dans ces conditions par la cellule passe-haut du médium est, tous calculs faits, très exactement :

$$Z = R \times \frac{LC p^2 + p \frac{L}{R} + 1}{LC p^2 + 2 p RC + 1}$$

ou R est la résistance de charge, toutes compensations effectuées de chaque section du filtre. La résistance d'entrée idéale R est multipliée par un coefficient assez complexe égal, résultat connu, à l'unité dans le cas d'un

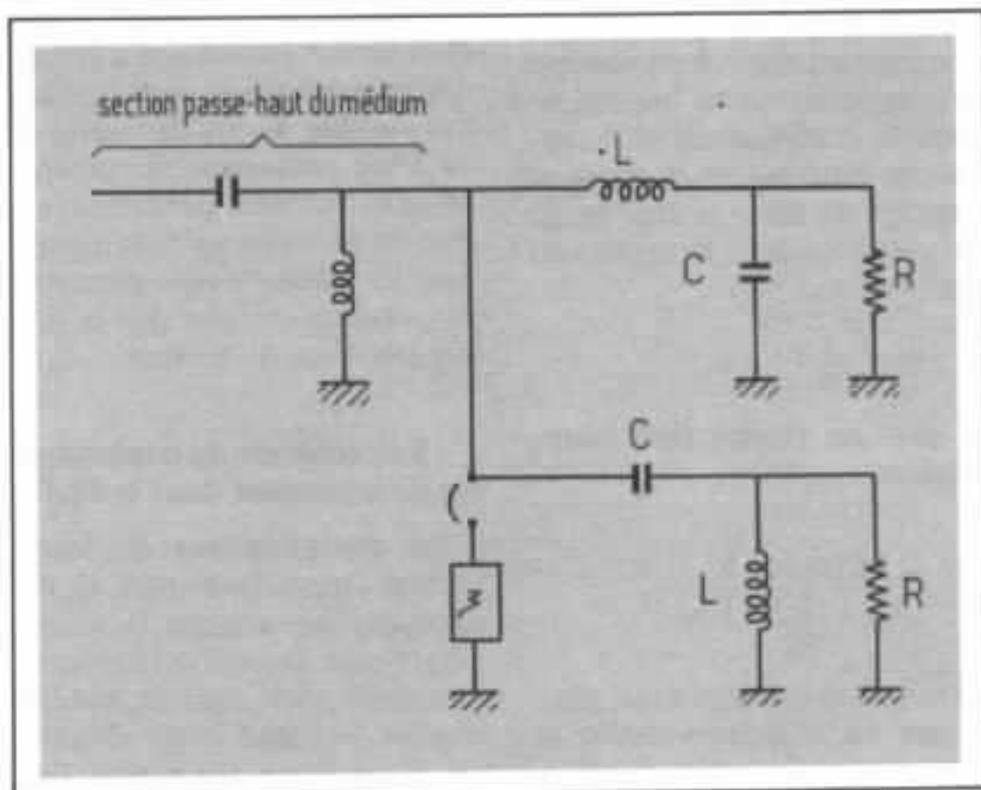


Fig 7 : Principe d'amélioration de la charge de la section passe-haut de médium.

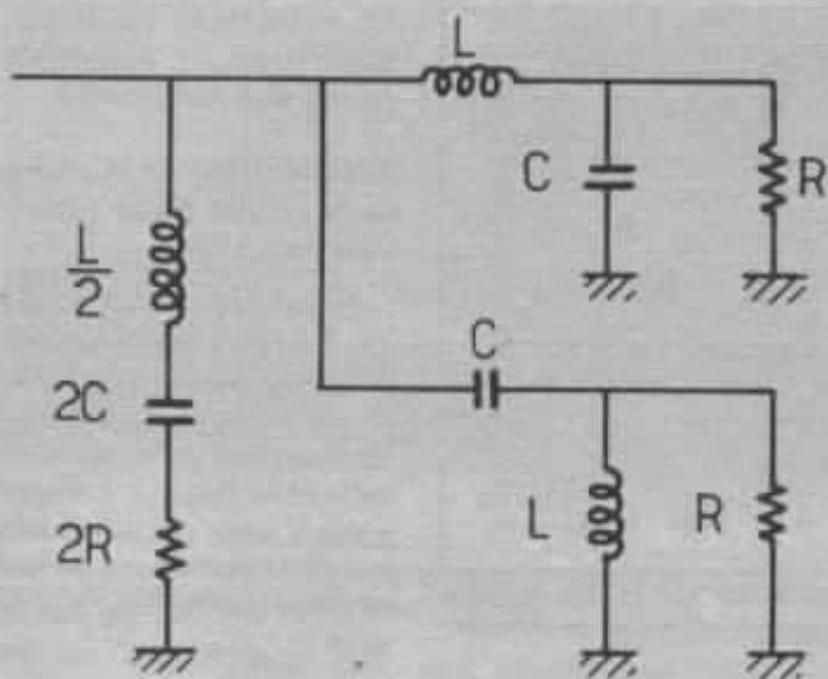


Fig 8 : Compensation de l'impédance d'entrée d'une cellule séparatrice à amortissement $\zeta = 1$ (Filtre type Larsen).

amortissement « Butterworth » (facile à vérifier en considérant que $\zeta = \sqrt{2}/2$ entraîne $L/C = 2 R^2$ ce qui entraîne l'égalité des coefficients de p).

Dans le cas d'un filtre « Larsen » cette impédance passe par un maximum d'environ $2 R$ bien avant la fréquence f_{pn} de séparation médium-aigu. Il est possible de compenser cette impédance d'entrée Z en mettant en parallèle une impédance z de caractéristique telle que z et Z en parallèle soient égales à R , donc telle que :

$$\frac{1}{z} + \frac{1}{Z} = \frac{1}{R}$$

ce qui tous calculs faits donne exactement :

$$z = R \frac{LCp^2 + p \frac{L}{R} + 1}{p \left(\frac{L}{R} - 2RC \right)}$$

On voit tout d'abord que dans le cas du « Butterworth » le dénominateur s'annulant z devient infini, il n'y a donc pas à compenser.

Dans le cas d'un filtre « Larsen » le résultat est très simple :

$$z = p \frac{L}{2} + 2R + \frac{1}{2pC}$$

ce qui correspond au circuit résonnant série très amorti rajouté figure 8.

L'essai a été fait dans le cas d'un filtre « Larsen » et a donné subjectivement une amélioration très sensible. Le fonctionnement du filtre passe-haut du tweeter est aussi perturbé par cette connection en sortie du filtre passe-haut du médium mais dans des proportions moindre que la cellule passe-bas du médium.

3 - Le problème du déphasage tension/courant dans le H.P

Un des problèmes du haut-parleur électrodynamique est de nécessiter une attaque en « tension » pour amortir sa résonance principale alors que la bobine mobile « répond » au courant qui la parcourt. On conçoit dès lors, qu'en dehors de la zone de fréquences perturbées par la

résonance principale, l'impédance du haut-parleur étant constituée d'une self et d'une résistance, il va se produire un déphasage entre la tension appliquée et le courant, donc la force appliquée à la bobine mobile. Cette constante de temps du haut-parleur introduit un retard de phase supplémentaire dans les coupures passe-bas.

Ce retard peut atteindre 10 à 15 degrés dans le haut-parleur de grave à la séparation grave-médium si elle est placée assez haut dans le spectre (500 à 700 Hz) ; il a dans ce cas peu d'influence. Il n'en est pas de même à la séparation médium-aigu où le déphasage au niveau du médium peut atteindre 45 degrés ou plus à la fréquence de séparation. Ceci revient, dans le cas d'une séparation à 12 dB/octave, à avoir en ce qui concerne la phase l'équivalent d'une séparation à 18 dB/octave pour le haut-parleur de médium et 12 dB/octave pour le tweeter. Dans le cas d'un filtre « Larsen » la composition vectorielle

devient tout à fait différente. Le filtrage actif et la multi-amplification ne changent rien à ce problème inhérent au fonctionnement du haut-parleur mais permettent d'adopter plus facilement des solutions intermédiaires. Une méthode pour éviter ce problème est d'utiliser les haut-parleurs loin de cette constante de temps ou d'utiliser des haut-parleurs bagués avec les inconvénients qui peuvent en résulter par ailleurs.

En conclusion

L'expérience prouve et nous l'avons un peu montré, que réaliser un filtre, aussi simple soit-il, et le faire fonctionner conformément à un principe ou à une phi-

losophie prédéterminée n'est pas aussi simple qu'il paraît au premier abord. Des réalisations approximatives, considérées comme exactes, de principes bons ou mauvais, sont peut-être à l'origine d'une grande partie des polémiques engagées au sujet de filtres et des préjugés qu'elles finissent par créer.

Les diverses difficultés rencontrées, concernant les déphasages en particulier, font qu'il est peut-être nécessaire de changer notre philosophie de conception des enceintes et de leurs filtres.

Plutôt que de raisonner uniquement sur des tensions et leurs déphasages et affaiblissement, il faudrait se préoccuper d'avantage de pression acoustique et de

déphasages de courants dans les bobines mobiles. Il paraît en fait un peu aberrant de bâtir de grandes théories sur ce paramètre, la tension, qui n'agit que indirectement sur la pression acoustique seule grandeur reconnue et traitée par l'oreille et son système perceptif. Mettre au point une enceinte et son filtre avec cette optique un peu différente est d'un abord beaucoup moins immédiat mais risque de donner de bien meilleurs résultats.

Nous n'en sommes malheureusement pas là. Nous nous contenterons dans la deuxième partie et cet article de donner l'étude et la réalisation d'un filtre du deuxième ordre en essayant de suivre d'aussi près que possible le principe avancé.

**Page non
disponible**

Principe de la ligne acoustique et applications

Jacques Mahul

Les principes de charge par labyrinthe, bass-reflex ou ligne acoustique du type TLS ont tous pour but d'utiliser le rayonnement à l'arrière du cône de façon judicieuse.

On sait que le baffle du type « infini » n'utilise que la moitié de la puissance sonore. Comme la majeure partie de la puissance sonore est concentrée dans les basses et le bas médium, pour la musique d'orchestre comme pour la parole, il est intéressant d'utiliser le rayonnement arrière du haut-parleur.

L'idée la plus simple est de constituer à l'arrière de celui-ci une enceinte d'une longueur suffisante pour imposer à l'onde arrière une différence de marche égale à $\lambda/2$. Comme l'arrière est déphasé de π sur l'avant (compression d'un côté, détente de l'autre), le rayonnement de l'arrière arrive à la bouche de l'enceinte en concordance de phase avec le rayonnement de l'avant.

Une ouverture joue le rôle de haut-parleur secondaire et on se doit de faire coïncider les phases pour la zone de fréquences choi-

sie. Celle-ci est, évidemment, fonction de la résonance propre du haut-parleur. Pour atténuer cette dernière, on s'arrange pour que le chemin interne appelé labyrinthe acoustique constitue une véritable charge pour l'arrière du HP. Il suffit que l'onde réfléchi à la sortie du labyrinthe revienne en opposition de phase à la fréquence de résonance du HP. La longueur du chemin doit donc être égale au quart de la longueur d'onde de résonance ($L = \frac{\lambda_s}{4}$).

Voilà pour le principe. Depuis

déjà de nombreuses années, des réalisations de tout type ont été créées, tant en sonorisation qu'en haute fidélité domestique. Celle qui a donné ses lettres de noblesse à ce type de charge est le TLS (Transmission Line System) composé au départ d'un haut-parleur Kef B139 et de 3 autres transducteurs pour la reproduction du médium et de l'aigu. Nous retrouvons cette composition dans la gamme IMF.

La ligne acoustique du type TLS

L'enceinte de base est montrée

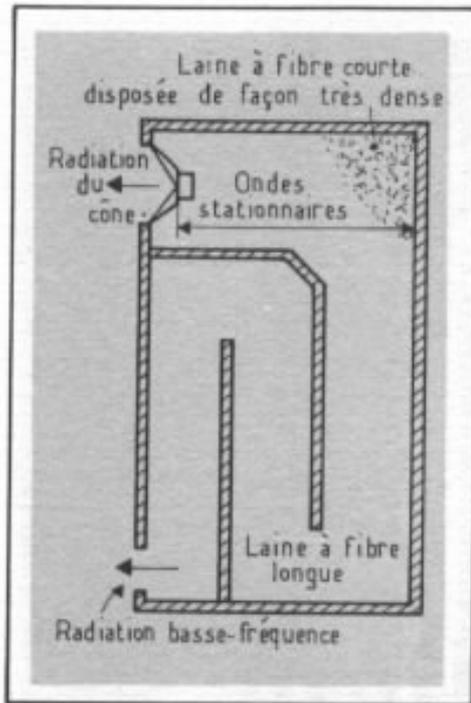


Fig. 1 : Enceinte à ligne acoustique

en figure 1. La radiation provenant de l'arrière du cône du HP s'engouffre dans un tuyau replié de la largeur totale de l'enceinte, qui est rempli d'un matériau à faible densité d'absorption acoustique. Ce tuyau accordé est utilisé sous la forme de l'antirésonance fondamentale. Pour ce faire, il faut donc que la longueur d'onde de celle-ci fasse quatre fois la longueur du tuyau. Le haut-parleur est couplé directement à une extrémité du tuyau comme le montre la figure 2. Prenons l'instant où le cône est à son maximum de déplacement négatif crête. Une compression

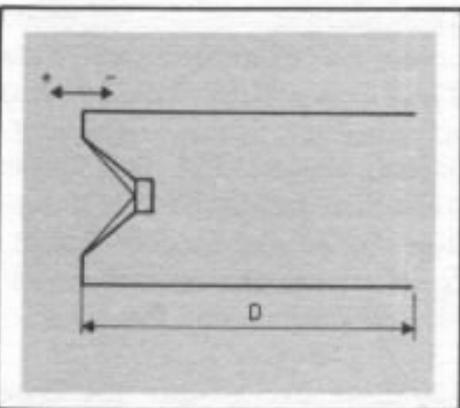


Fig. 2 : Configuration d'un tuyau en 1/4 d'onde

sera expulsée et transmise le long du tuyau pour atteindre l'entrée de l'extrémité ouverte, un quart de cycle plus tard. Pendant ce temps, le cône a continué à se déplacer pour revenir à sa position zéro. La compression est expédiée à l'air libre, ce qui provoque une raréfaction à l'arrière du cône le long du tuyau. En atteignant le cône, un autre quart de cycle plus tard, elle trouvera celui-ci à son pic maximal positif et lui appliquera une force de succion tendant à réduire son amplitude. Cette action, qui est bien sûr continue, provoquera une réduction de l'amplitude du cône pour un niveau d'entrée donné en puissance et augmentera la radiation de l'ouverture du tuyau. En pratique, l'air n'est pas un court-circuit et le tuyau n'est pas sans perte non plus. L'air offre une impédance basse constituée d'une résistance de radiation et de la masse d'air présente devant le radiateur. L'onde de pression expulsée du tuyau continue son chemin dans cette impédance terminale, de la même manière que le courant électrique le long d'une ligne de transmission procurant une dissipation de puissance dans un élément résistif.

Le contrôle sur l'amplitude du cône est un facteur très important pour l'amélioration significative de la tenue en puissance en basses fréquences et de la diminution de la distorsion.

L'effet de la laine est de retarder l'onde par rapport à sa vitesse dans l'air. La réduction de ce facteur est de l'ordre de 0,7 à 0,8 pour la densité recommandée et, ainsi, le système fonctionnera à une fréquence plus basse que celle qu'il aurait été permis d'attendre.

Nous vous proposons, dans la

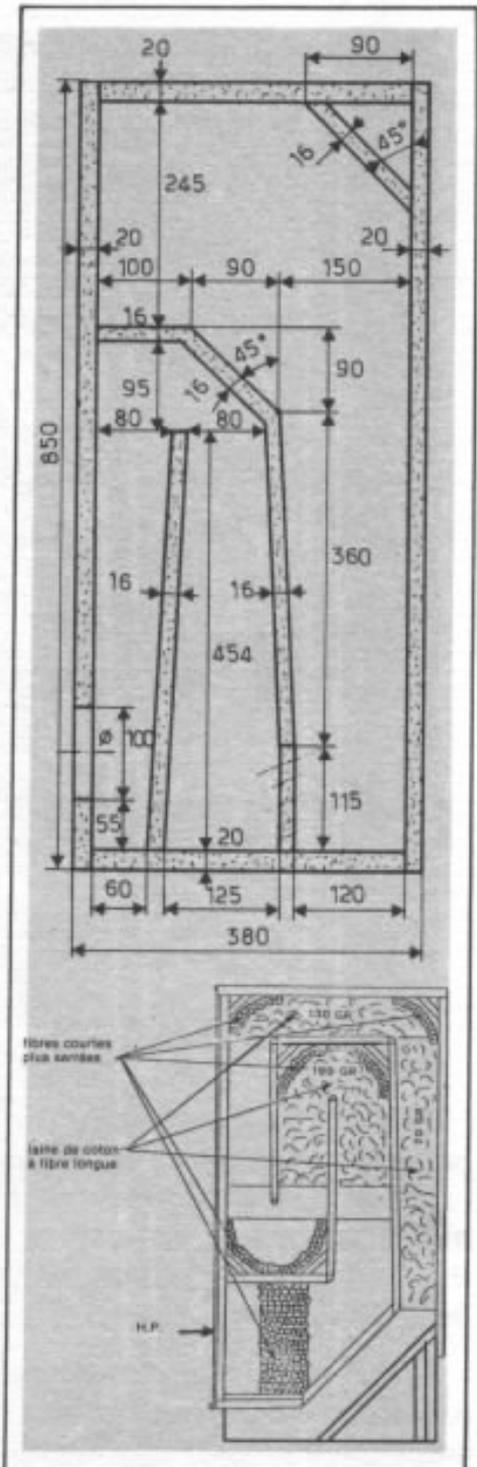


Fig. 3 : Ligne acoustique prévue pour un 20 cm type HD 20 B 25 H 2 C 12 (Audax), en haut et en bas exemple d'une création hollandaise équipée d'un B 139

figure 3, un plan de montage (vue de côté seulement, la largeur de l'enceinte dépendra des autres transducteurs utilisés) du type TLS équipé d'un HD 20B25H 2C 12 (Audax). Cette charge s'est révélée efficace. La section du tuyau va en diminuant et les parois ne restent jamais

parallèles, ce qui est, nous le verrons plus tard, un impératif. La disposition de la laine de roche ou de coton devra être déterminée par l'auteur de la réalisation en fonction des colorations introduites par ce labyrinthe.

De nombreuses réalisations furent équipées d'un kef 139 (le mythe du piston plan peut-être !) et nous vous révélons une création hollandaise dont le type de construction est un peu particulier, car il fait appel à 4 sections dans le sens de la profondeur avec une ouverture proche de celle du boomer placé par ailleurs relativement bas.

Une enceinte surprenante avait vu le jour, il y a quelques années en Angleterre, sous la marque Omal et était équipée d'un haut-parleur elliptique 22×33 cm de la marque EMI. Ce dernier était disposé horizontalement et diffusait vers l'arrière dans un labyrinthe constitué de 4 secteurs verticaux disposés grosso modo dans les quatre quarts de l'enceinte. Une densité variable d'absorbants était nécessaire au bon fonctionnement du système et la réponse de l'ensemble était probante dans le secteur basse-fréquence.

Malgré tout, une coloration sonore non négligeable due aux réflexions sur les parois, et notamment sur la première à l'arrière du coffret, apparut tant sur le modèle original équipé du B139 que sur tous les autres systèmes de ce type qui en découlaient.

Monsieur Arthur R. Bailey de l'université de Bradford a donné une explication à ce phénomène et a proposé une solution qui pouvait en réduire l'intensité. Le degré de coloration introduite par cette première réflexion (qui est très souvent rencontrée par

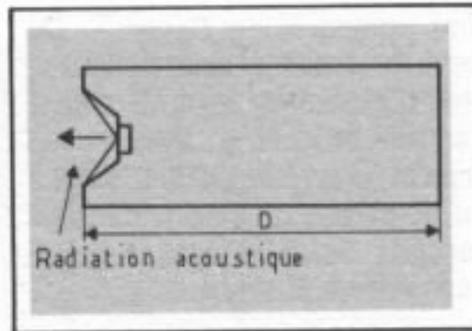


Fig.4 : Enceinte close sans absorbant interne

ailleurs dans les coffrets rectangulaires classiques) est d'autant plus important que la fréquence de coupure du haut-parleur de grave est située plus haut dans le spectre.

De façon évidente, la reproduction est entachée d'un certain écho. Les raisons ont été présentées de la façon suivante par Bailey. Dans une boîte toute simple, (voir figure 4), une impulsion sonore générée par le cône aura deux composantes : l'impulsion produite par l'avant du cône et celle propagée à l'arrière du coffret. Si cette dernière est assimilée à une onde plane (propagation parallèlement aux parois du coffret), elle frappera la partie arrière et reviendra sur le cône comme une autre impulsion.

Une partie de cette énergie sera transmise, à travers le cône, à l'extérieur et le complément sera réfléchi à l'arrière du coffret pour

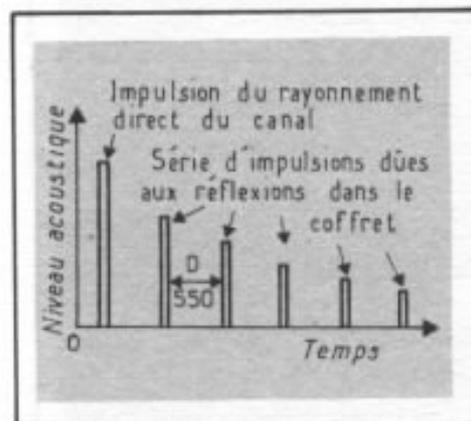


Fig.5 : Réponse impulsionnelle du coffret

une nouvelle réflexion. Le résultat évident est une succession d'impulsions allant en s'affaiblissant. Le niveau acoustique global est présenté dans son évolution dans le temps (figure 5). Si la réflexion provenant de l'arrière du coffret est chargée ou modifiée de façon à ce qu'elle soit graduelle plutôt qu'abrupte l'onde réfléchie ne sera plus alors une simple impulsion ayant à son origine une impulsion unique, mais une impulsion longue et continue, dont la longueur et la forme dépendront de la nature de la réflexion. On peut se référer à la figure 6. La forme du

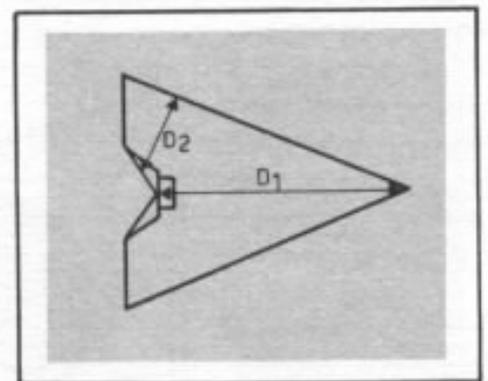


Fig.6 : Coffret triangulaire montrant les différents chemins de réflexion

coffret est triangulaire. Le rayonnement sonore en provenance de l'arrière du cône est successivement soumis à plusieurs réflexions. La première d'entre elles est due à la partie sonore émise par la périphérie du cône et la dernière à celle émise par le centre du cône. Les chemins de chacune de ces réflexions sont très différents les uns des autres. Le son résultant ne se présente pas comme une chaîne d'impulsions séparées mais comme un long pulse de plus faible amplitude, comme un niveau sonore continu et faible.

A l'écoute, cette configuration est beaucoup moins gênante qu'une série d'impulsions décroissantes. Les deux effets

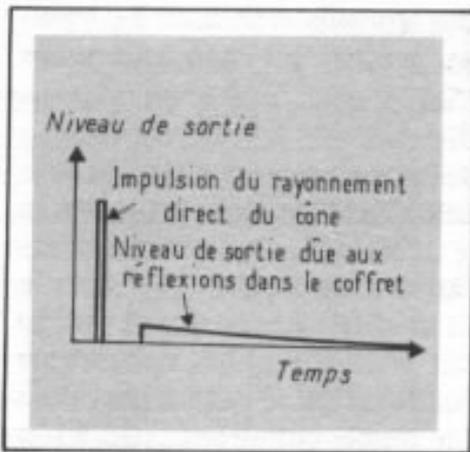


Fig.7 : Réponse impulsionnelle d'un coffret triangulaire excité par une impulsion en provenance du haut-parleur

sont comparés en figure 7. De toute évidence, il serait préférable d'absorber complètement l'arrière du coffret. Dans le cas présent, c'est impossible, mais il est nécessaire de placer, dans les endroits litigieux, la quantité nécessaire d'absorbants.

Une solution intéressante pour diminuer les colorations

Pour un haut-parleur émettant de face, il est nécessaire de guider le son dans une direction verticale sans produire de mauvaises

réflexions. De plus, le système doit être de conception simple pour garantir un coût de fabrication bas, tout en conservant une rigidité au-dessus de tout soupçon. Après plusieurs expériences avec différentes formes de coffret Bailey est arrivé à celui de la figure 8. Celui-ci a plusieurs avantages sur le coffret original. Tout d'abord, il possède une section de labyrinthe triangulaire qui entraîne moins de coloration audible ; deuxièmement, le travail de construction est simple. Seules deux séparations internes sont prévues. De plus, la façade avant du coffret est partagée en deux parties, ce qui réduit considérablement la résonance du panneau. Finalement, une surface suffisante est obtenue sur la façade par le logement d'un médium dans la partie de la ligne où les pressions internes ne sont plus très élevées. En pratique, il n'a pas été nécessaire d'utiliser un coffret séparé pour celui-ci. Cependant, une amélioration sensible est obtenue si un absorbant est appliqué à l'arrière du médium.

Les détails de la structure sont indiqués en figure 9. Un système à 3 voies est recommandé, car il est nécessaire de ne pas faire monter trop haut le haut-parleur de grave.

Comme prévu, une laine à longue fibre remplit entièrement les 3 sections verticales de la ligne acoustique. L'agencement des parois doit être très rigide, rapide, sinon il y a une perte d'efficacité de l'ensemble. L'application de la laine pose un problème car elle peut se tasser dans le transport ou s'effiloche avec le temps. Des clous ou des goujons peuvent être disséminés sur les panneaux, mais l'application n'est pas parfaite. Le mieux

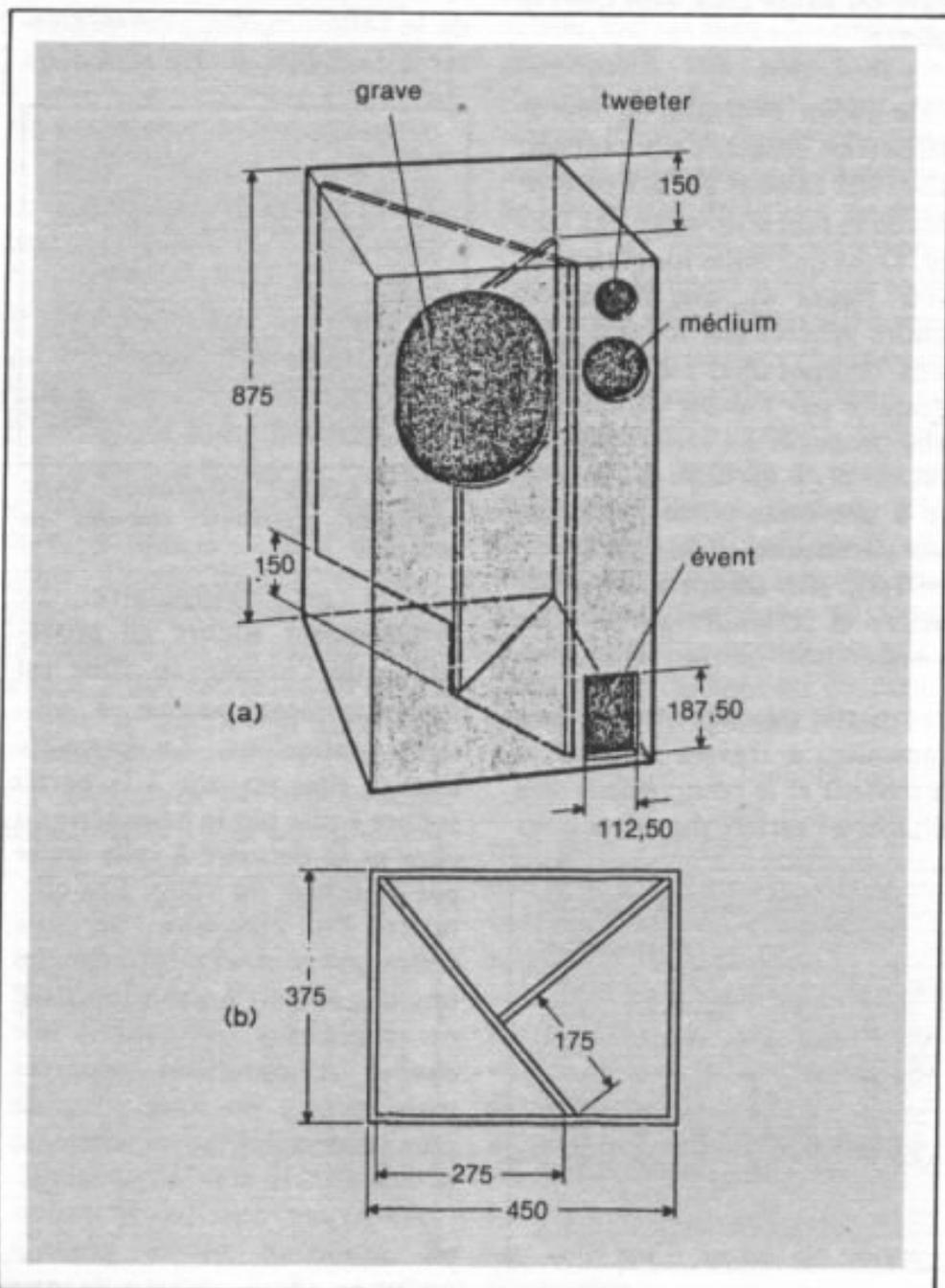


Fig.8 : Version définitive

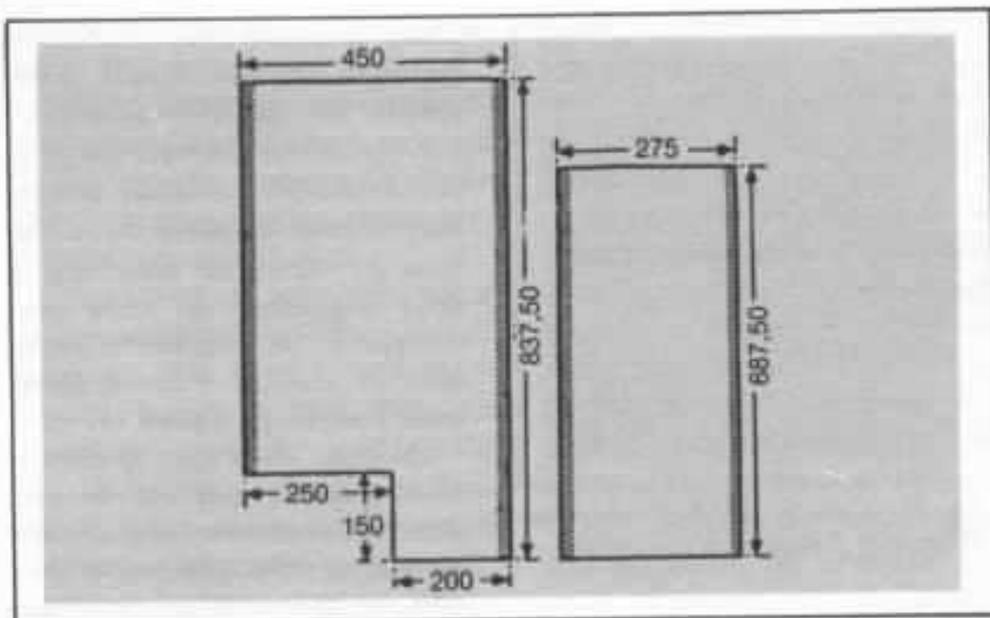


Fig.9 : Dimensions des découpes internes

est de prendre le cœur de la laine et de l'appliquer à l'aide d'une colle sur toute sa surface. Avec des haut-parleurs à montage par l'avant, il est possible de charger les deux sections de devant à travers les trous des haut-parleurs et de l'évent, tandis que la section arrière pourra aisément être remplie en prévoyant un panneau arrière amovible. Il est aussi possible de prévoir un sommet amovible et de charger les 3 sections par le haut. Un excès de laine créera des pressions arrière sur le cône, alors qu'une trop faible quantité provoquera des résonances de tube dans les régions basses.

Pourrait-on éliminer ou réduire les résonances de colonne restantes en plaçant des réflecteurs à 45° dans les passages entre les colonnes et sur les côtés de celles-ci ? En effet, on pourrait imaginer que le guidage ne soit pas parfait et que le son puisse rebondir de bas en haut dans la première section, à la manière d'un rayon lumineux sur un miroir. Apparemment, ces réflexions ne se sont pas avérées catastrophiques puisque l'amélioration n'a été que de

1 dB en amplitude, après usage de ces réflecteurs. Leur emploi est donc pratiquement superflu.

La surface de l'évent n'est pas critique comme dans le cas du bass-reflex. Aucun effet de « tuning » ne se fait sentir comme on peut fréquemment le déceler dans certains coffrets bass-reflex. Un doublement de la surface de l'évent ne produit aucun effet notable. Inversement, il ne serait pas souhaitable de le réduire trop, car il est déjà très nettement inférieur à la section finale du tuyau.

Les courbes de réponses obtenues

doivent être analysées avec beaucoup de circonspection car elles ne sont représentatives que d'une partie des performances de l'enceinte. La réponse en fréquence du système complet en chambre sourde est reproduite dans la figure 10.

A l'analyse de cette courbe, plusieurs points sont à noter. Tout d'abord, celle-ci chute au niveau des basses fréquences à partir d'un certain seuil. La réponse n'aura pas la même forme dans un local d'écoute et la seule présence du sol produira un gain de 3 dB par les diffractions vers le bas. Les murs et les plafonds auront, eux aussi, leurs influences qui viendront modifier la réponse de l'ensemble. Il a été vérifié que dans des conditions normales d'écoute, le volume sonore dans les basses fréquences est tout à fait satisfaisant.

Une réponse plate en chambre anechoïque produirait des basses lourdes et pâteuses et un déséquilibre vers le bas se ferait sentir dans une pièce normale d'écoute.

Ce qui est à remarquer, c'est l'étendue de la réponse ainsi que l'amortissement dû au bon con-

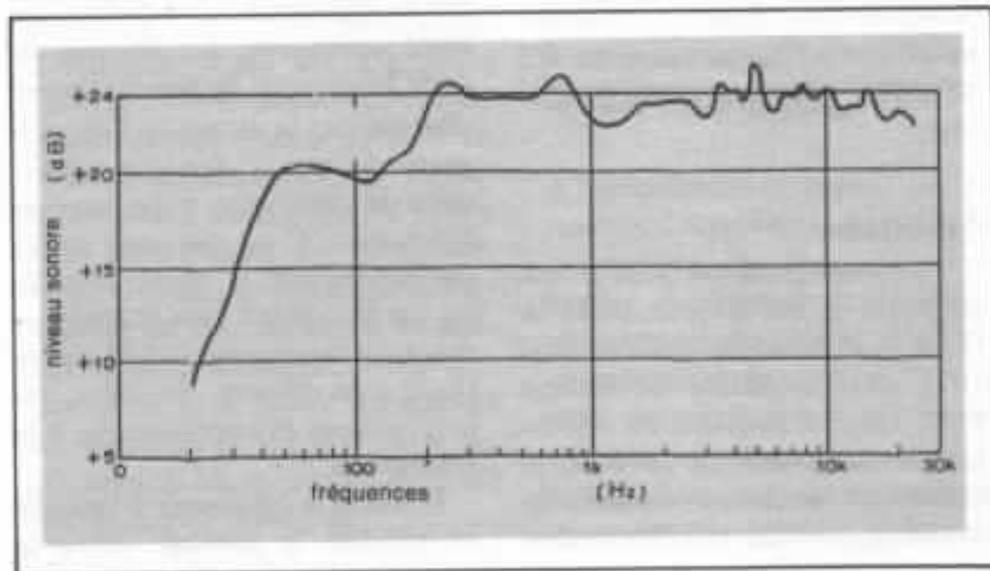


Fig.10 : Réponse en chambre sourde d'un système complet

trôle du haut-parleur par la ligne. La douceur de l'enveloppe de la courbe de réponse est remarquable à ce titre. Une courbe de réponse aux dents de scie implique des composantes avec un Q élevé. Une résonance avec un Q élevé qui relève localement la courbe de réponse, seulement de 0,5 dB, à 1 dB, peut ruiner la reproduction d'un excellent haut-parleur.

La réponse en transitoire est un excellent test pour mettre en valeur ces problèmes, mais le test souverain demeure l'oreille avec tout ce que cela implique de subjectivité et d'apport personnel. Le meilleur test n'est pas forcément de la musique enregistrée, mais peut revêtir la forme de sinusoïdes pures (excellent pour la distorsion) d'applaudissements ou même mieux de bruits blanc ou rose pour la réponse en transitoire.

Si le lecteur considère que le volume de l'enceinte proposée, équipée d'un B139 de kef est trop important, il est toujours possible de réduire toutes les dimensions données en rapport avec le nouveau diamètre (plus petit évidemment). Les performances restent tout à fait convaincantes avec un 20 cm. Dans ce cas précis, il faudra ramener les côtes correspondantes au 4/5 de celles précédemment proposées.

Le daline

Une configuration tout à fait originale a vu le jour dans la revue Hifi News du mois de mai 1975 sous la plume de Robert Fris, suite à l'article du même auteur décrivant ce qu'était le Daline et quels en étaient les avantages sur les configurations classiques décrites plus haut. Nous reprendrons une partie de

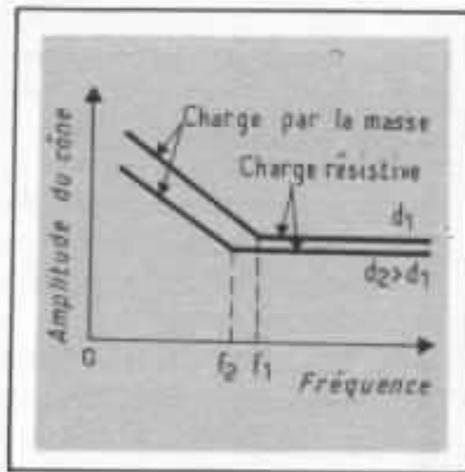


Fig.11 : Courbe amplitude du cône-fréquence à puissance constante

son étude théorique, nous parlerons de ses réalisations et proposerons une application aux lecteurs intéressés, avec des transducteurs de très faible dimension (13 cm) avec lesquels nous arriverons à obtenir des performances étonnantes.

Le principe du daline

Un haut parleur monté sur un véritable baffle infini ou dans un coffret clos offrira pour un niveau d'entrée constant en puissance une amplitude variable avec la fréquence.

Aux fréquences supérieures à celles dont la longueur d'onde est égale à la circonférence du cône, la membrane est chargée par la résistance de radiation qui reste constante. En dessous de cette fréquence, la membrane est chargée par la masse de l'air présente devant et derrière celle-ci dont la résistance varie avec la fréquence. C'est sur cette partie du spectre que le cône rayonne, tel un seul point avec théoriquement un rayonnement hémisphérique ; la vitesse du cône est inversement proportionnelle à la fréquence.

Comme la fréquence à laquelle se produit le passage entre la masse et la charge résistive est très dépendante du diamètre du

cône, une amplitude différente apparaîtra pour chaque haut-parleur de diamètre différent à une fréquence donnée. De plus, la résistance de radiation est proportionnelle au carré de la surface du cône, de sorte que si deux diamètres de cône sont comparés, les courbes d'amplitude de chacun d'eux apparaîtront comme en figure 11.

On peut noter que le cône le plus petit a toujours la plus grande élévation pour une fréquence et une puissance données, ce qui entraîne des limitations plus sévères sur la tenue en puissance.

L'efficacité d'un haut-parleur est proportionnelle au carré de la surface du cône, mais aussi inversement proportionnelle à la masse de celui-ci. Cependant, la masse est grossièrement proportionnelle à la surface, ce qui nous conduit à considérer que le rendement est pratiquement proportionnel à la surface. Pour obtenir le niveau acoustique maximal, le cône doit donc posséder la surface la plus grande possible. La masse devenant, elle aussi, très importante, la réponse transitoire en souffrira considérablement. La réponse transitoire d'un haut-parleur sera d'autant meilleure que le poids de l'équipage mobile sera léger, comparativement à la force appliquée, donc au facteur de force BL.

Incidentement, certains constructeurs utilisent dans leurs réalisations des haut-parleurs de grand diamètre, animés par des champs faibles pour obtenir un niveau de grave élevé. Ils prennent comme argument qu'une bonne performance en transitoire dans les basses fréquences n'est pas nécessaire, les harmoniques des transitoires étant repro-

duites par les haut-parleurs de plus haute fréquence.

Il est donc très important de considérer le problème sous un aspect moins commercial et de ne se soucier que des seules performances acoustiques.

Employer un cône de basse aussi petit que possible et possédant un BL élevé et une résonance basse, semble être un excellent gage de qualité. Ce choix doit être effectué relativement à un niveau de puissance suffisant, déterminé auparavant.

Pour des systèmes de basse plus puissants, il est préférable d'utiliser plusieurs unités de petit diamètre plutôt qu'un seul gros élément, de façon à accroître et

sance d'entrée et l'extension des basses fréquences, la condition étant progressivement plus sévère pour les plus faibles diamètres.

Si un petit haut-parleur est chargé par une ligne accordée, une amélioration considérable peut être effectuée en diminuant l'amplitude du cône dans la partie du spectre où il devrait être saturé mécaniquement, à des niveaux sonore élevés.

En appliquant une ligne acoustique et une quantité correcte d'absorbants, la courbe d'amplitude du cône pourra prendre la forme de la figure 3. Comme l'amplitude est constante sur la bande f_1 f_2 , la fréquence à laquelle les limites mécaniques apparaissent est ainsi déplacée vers le bas. La position de niveau constant coupe la courbe non modifiée d'un haut-parleur de plus grand diamètre, de sorte qu'en dessous de la fréquence d'intersection, la surface de radiation effective du petit excède celle du gros.

Ceci n'est pas atteint au détriment de la réponse en transitoire car aucune masse n'est rajoutée. Comme l'impédance présentée au cône est constante sur cette bande, on en déduit que la ligne rayonne avec une amplitude croissante. Ceci est d'ailleurs bien mis en évidence quand on place devant l'embouchure de celle-ci un morceau de papier léger. Dans cette zone, le tuyau ne « sonne » pas, car l'antirésonance réduit par nature le déplacement du cône et limite sa propre source d'énergie, mais au-dessus de cette partie du spectre le tuyau entre en une série de résonances harmoniques qu'il est nécessaire de contrôler.

L'enceinte à ligne acoustique du type TLS réussit à supprimer

en partie cet inconvénient en donnant un profil conique au tuyau et en rajoutant des matériaux absorbants. Mais alors, la charge sur le cône au-dessus de l'antirésonance est presque constante et résistive, la valeur de celle-ci est élevée. Le rendement est faible, il demande une unité de basse de diamètre plus élevée pour compenser cet affaiblissement. Malheureusement, des problèmes liés à la masse du cône apparaissent. C'est ce qui a été fait avec les TLS équipés, soit du B139, soit de 20 cm à membrane bextrene d'origine Kef ou autres.

Un moyen radical d'absorber la radiation du médium dans un tuyau fortement amorti est de découpler le tuyau du haut-parleur au-dessus de la zone d'antirésonance. Un filtre passe bas inséré entre l'unité de basse et le tuyau pourrait prendre la forme d'une cavité comme sur la figure 13 (un coffret se comporterait comme un résonateur d'Helmholtz ou un système reflex si le tuyau était court, comparé

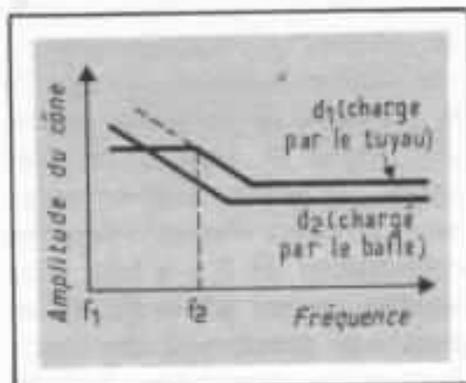


Fig. 12 : Courbe comparant un petit haut-parleur chargé par une pipe à un haut-parleur de plus grand diamètre monté sur baffle

répartir la force relativement à la masse en mouvement. Comme nous allons pouvoir le voir, un haut-parleur de basse de faible diamètre (13 cm en l'occurrence) bien chargé donnera de meilleurs résultats que la plupart des gros plus difficiles à charger. La seule différence résidera dans le rendement.

En se référant à la figure 12, on peut constater que dans la zone de charge par la masse, la puissance maximale d'entrée avant saturation est dépendante de la fréquence, de sorte qu'un compromis existe entre la puis-

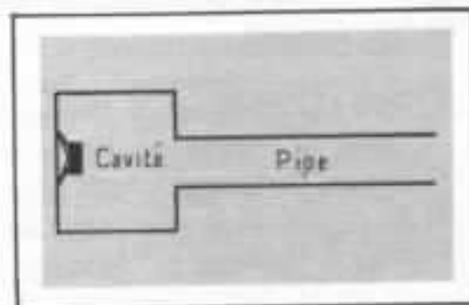


Fig. 13 : Filtre passe-bas

à la longueur d'onde). La fréquence à laquelle la capacitance acoustique de la cavité commence à shunter la résistance acoustique du tuyau, dépendra du volume de la cavité et de l'orifice. Aux fréquences situées au-dessous de l'antirésonance, le tuyau offre une haute impédance à la cavité, celle-ci présentant une impédance plus basse au cône. Ainsi, la radiation peut-

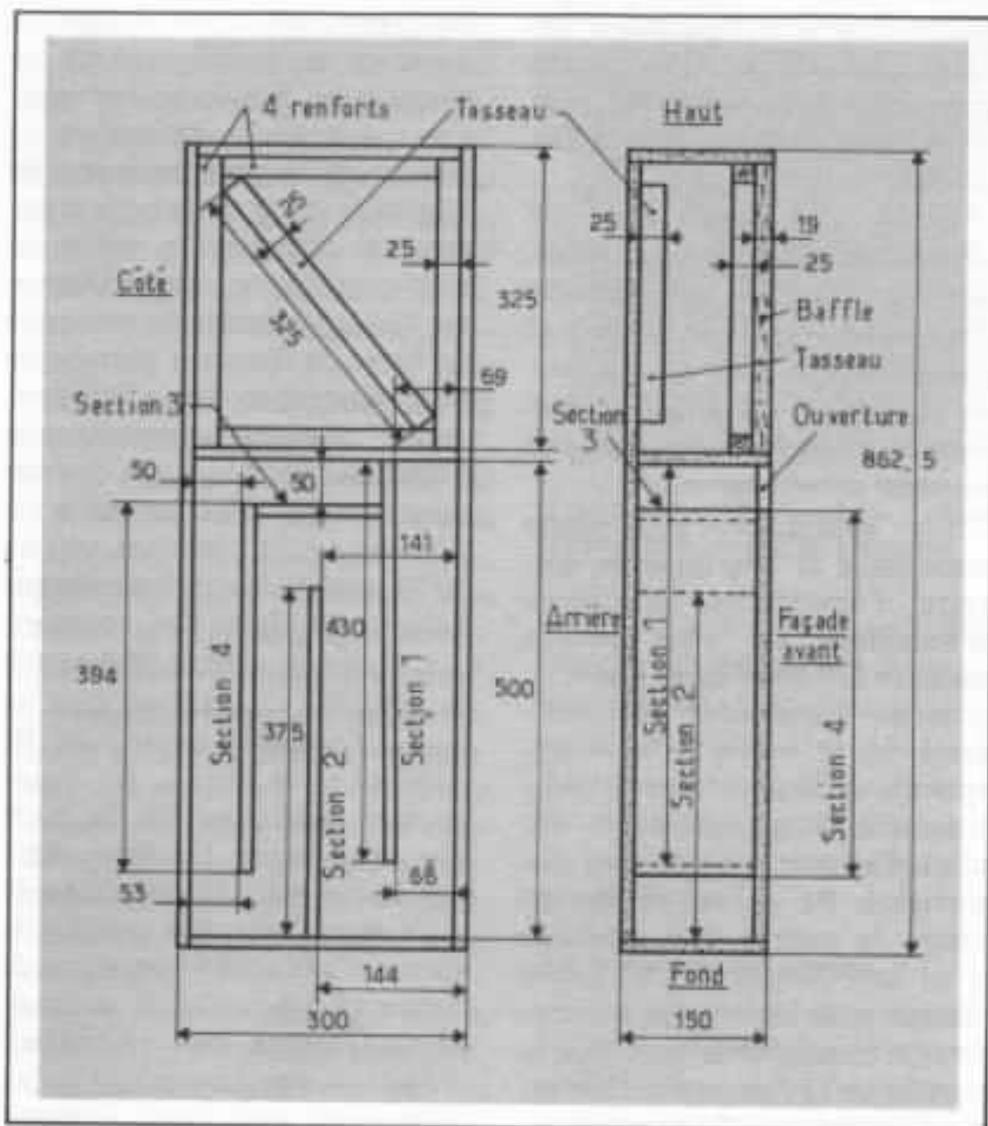


Fig.14 : Vue de face, la façade avant enlevée et vue de gauche sans la découpe des haut-parleurs

elle être absorbée par la cavité.

Quand la fréquence descend, le cône est progressivement couplé au tuyau. Si la résonance de la cavité d'Helmholtz et l'antirésonance de la pipe coïncident, le HP sera chargé par la masse de la cavité sur la partie supérieure de sa résonance et par la masse de la ligne sur l'autre côté de l'antirésonance.

Une extension des basses peut être obtenue en accordant le tuyau un peu en dessous de la cavité, auquel cas entre les deux fréquences les éléments de masse s'ajoutent et les composantes de raideur s'annulent, maintenant la charge par masse.

Il est inutile de s'exercer à

faire coïncider la résonance de la cavité avec la résonance fondamentale du tuyau, mais il est nécessaire malgré tout de fixer un rapport maximal des deux fréquences : 1,5/1.

La cavité et le tuyau sont amortis par l'introduction de matériaux absorbants pour baisser le facteur Q, étendre la bande, ralentir la vitesse du son et gagner du volume apparent. En éloignant les fréquences, on crée une augmentation de l'impédance électrique dans les basses.

Le gros avantage qui se dégage du Daline (Decoupled Antiresonant Line) est une meilleure adaptation du médium à l'effica-

cité des basses fréquences.

L'efficacité du registre médium est supérieure à celle obtenue par une ligne acoustique TLS, grâce à la possibilité de faire varier les paramètres du tuyau sans toucher aux performances du médium. Le découplage garantit un excellent contrôle et une absence d'interférences.

Une conicité négative moyenne a été donnée au tuyau pour éliminer le résidu de résonances harmoniques. Un quotient de cavité de 1,5 à 1 en surface a donné satisfaction, mais il reste à trouver l'optimum. Le système Daline peut être appliqué à toutes les tailles de HP, mais c'est avec des haut-parleurs de 10 à 13 cm que les résultats sont les plus probants, à cause de la faiblesse de la masse entraînée. Dans la zone d'antirésonance, la surface de rayonnement effective s'accroît dans des proportions de 5 à 6 fois. Cela signifie qu'un cône de 10 cm aura une amplitude de basses fréquences semblable à celui d'un 25 cm, pour le même niveau d'entrée. La distorsion par effet Doppler ne sera pas plus mauvaise qu'avec un plus grand haut-parleur.

La coupure inférieure est déterminée par la combinaison des paramètres du haut-parleur et des dimensions du coffret, de sorte que le concepteur n'est pas limité à une fréquence de coupure basse pour un diamètre donné, mais peut être libre d'établir le compromis taille-coupure qu'il désire.

Le meilleur compromis semble être de placer la fréquence de coupure aux environs de 0,7 de la fréquence de résonance à l'air libre du HP. Ainsi, un HP, qui résonne aux alentours de 30 Hz,

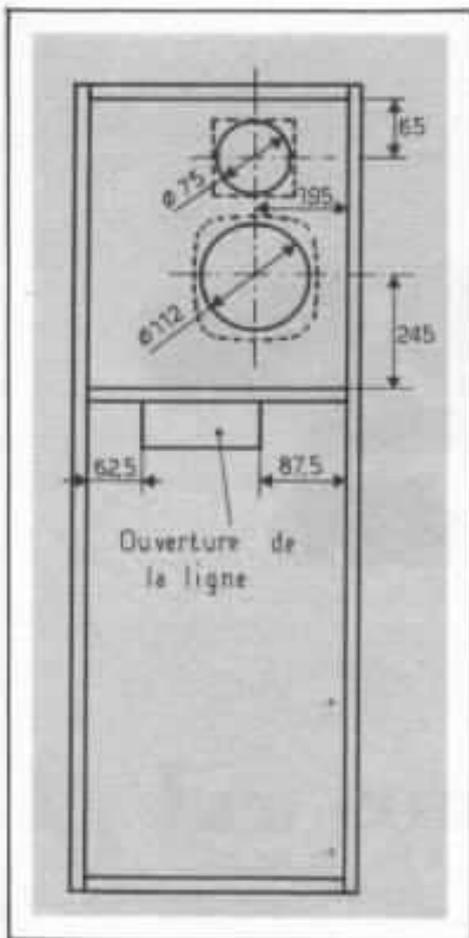


Fig. 15 : Vue de face avec la façade avant, baffle avant monté

peut espérer voir sa réponse étendue pratiquement jusqu'à 20 Hz.

Comme le TLS, le système Daline exploite l'antirésonance d'un tuyau accordé pour en tirer les mêmes bénéfices : une reproduction très étendue et une bonne tenue mécanique, mais avec en plus l'absence de coloration dans le bas-médium due à la présence de la cavité.

Un ensemble de ce type a été conçu en Angleterre dès 1975, avec un Kef B110 et un T27 d'une part, un Kef B110, un Peerless KO 10DT et un Cole 4001G d'autre part. La réponse en basses était exceptionnelle jusqu'à 20 Hz, ce qui est la fréquence la plus basse qu'il est possible de reproduire à pleine puissance. L'ensemble supportait 50 watts.

La courbe de réponse étant relativement amortie comme

nous l'avions remarqué précédemment avec le TLS, nous nous proposons de faire un pas en avant en utilisant un haut-parleur de la même dimension (13 cm), mais avec deux bobines. De la sorte, nous pouvons utiliser la deuxième bobine comme réglage supplémentaire dans une zone où il est difficile d'intervenir autrement qu'électroniquement. Ainsi, nous pouvons modeler la réponse en niveau dans le grave relativement au bas-médium, tout en conservant le gros avantage du Daline : son extraordinaire étendue de la réponse dans les basses à des niveaux élevés.

Nous possédons un découplage mécanique du grave et du médium par la cavité et un découplage électrique du grave et du bas-médium par la double bobine. En figures 14 et 15, apparaissent les plans détaillés de l'enceinte qui conserve les mêmes côtes que l'enceinte originale. Celle-ci demeure relative-

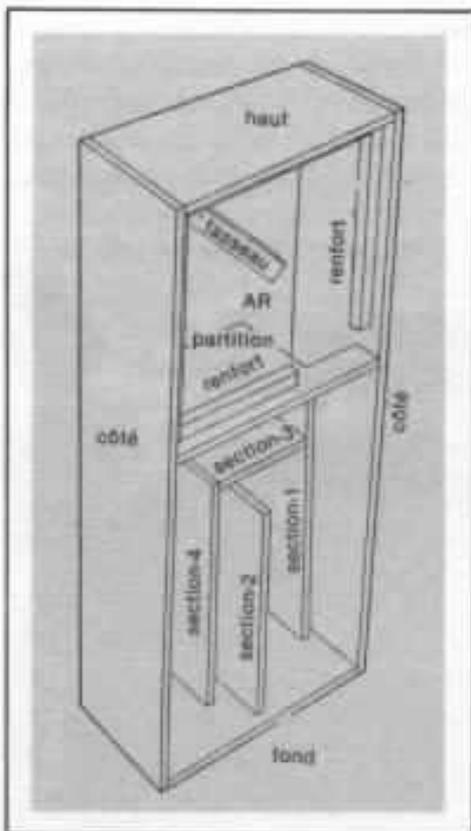


Fig. 16 : Vue de l'assemblage

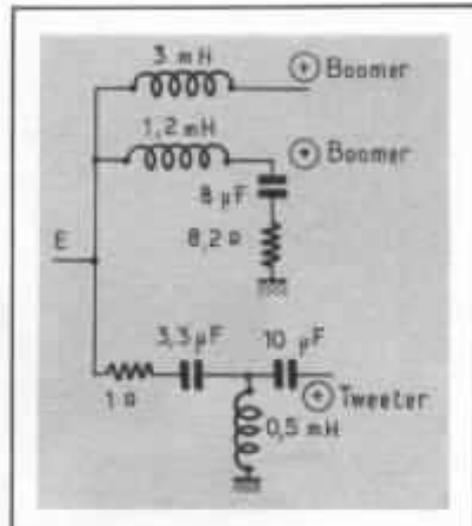


Fig. 17 : Filtre de raccordement du HD 9 X 8 D25 et Focal 5 N 401-DB

ment haute pour une surface au sol, par contre, assez faible : 30 x 15 cm. Un plan de montage est réalisé avec un 13 cm à double bobine Focal type 5N401 DB à membrane Neoflex (le BL est très élevé) et un tweeter Audax HD 9 x 8 D25. Un schéma de filtre est même proposé pour ceux qui se sentiraient une âme de menuisier.

Les meilleurs résultats d'écoute sont obtenus en éloignant l'enceinte des parois et en ne la plaçant surtout pas dans les coins. Autrement, le positionnement ne sera pas trop critique.

La construction du coffret se fera avec du latté de 12 mm pour les côtés et la ligne et de l'aggloméré de 19 mm pour la seule façade avant (le baffle). L'assemblage démarrera par le panneau arrière, sur lequel viendront s'appliquer les panneaux de la ligne et de la cavité. Placer du feutre de laine de faible épaisseur pendant l'assemblage sur toutes les parois internes. Doubler l'épaisseur dans la cavité. Le résultat sera étonnant !

Bibliographie :

Bailey A.R. « Non Resonant Loudspeaker Enclosure »
Robert Fris Hifi News and Record Review Nov. 1974.

**Page non
disponible**

Application des condensateurs à l'audio

1 - Les condensateurs non polarisés

Yves Neveu

L'influence des éléments actifs a toujours été reconnue quant aux perturbations qu'ils peuvent apporter dans la reproduction sonore. L'imperfection des lampes ou des transistors est facile à mettre en évidence. Ces éléments peuvent apporter du bruit de fond. D'autre part, leurs caractéristiques de transfert sont imparfaites, que ce soit en fréquence ou en tension. La dynamique utilisable est réduite et la linéarité du rendu de celle-ci imparfaite. L'Audiophile, dès son premier numéro, a insisté sur le rôle des composants dits « passifs » sur le rendu sonore. Ce rôle, bien que connu de certains concepteurs, commence seulement à être reconnu à un niveau plus général. Cependant, l'importance respective des divers composants passifs, en ce qui concerne leur influence sur le son, est encore mal définie.

Bien qu'aucun composant ne puisse être négligé, il semble que l'influence des condensateurs est considérable et qu'il est important d'essayer d'y voir clair, car les technologies sont très diverses.

Parler de composant « passif » à propos d'un condensateur est curieux, car cette passivité est bien active : le schéma équivalent d'un condensateur est indiqué en figure 1.

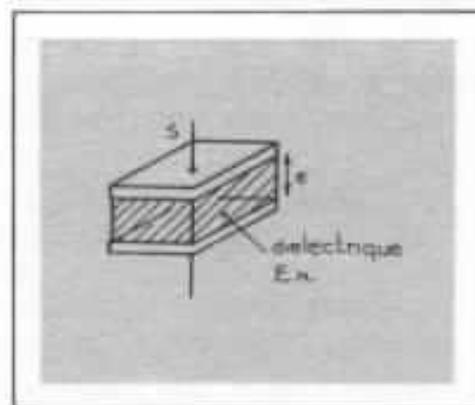
Quelques notions sur la physique du condensateur

Un condensateur est constitué

par deux surfaces conductrices parallèles entre lesquelles est placé un diélectrique, qui est une matière isolante dont le rôle est de stocker l'énergie électrique.

La valeur du condensateur est déterminée par la formule suivante :

$$C = \frac{\epsilon_r S}{e} (8,84 \times 10^{-12}) \text{ Farads}$$



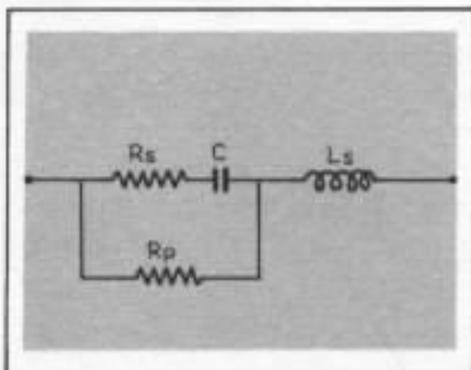
S : surface conductrice (m²)
 e : épaisseur du diélectrique (m)
 ϵ_r : constante diélectrique relative ou permittivité.

Le tableau donne pour les diélectriques les plus couramment utilisés la valeur de cette constante.

Diélectrique	ϵ_r (vide : 1,0000)
Air	1,0001
Téflon	2
Polypropylène	2,1
Polystyrène	2,5
Paryléine	2,65
Polycarbonate	2,9
Polyester	3,2
Verre	4-8,5
Mica	6,5-8,7
Céramiques	6 à plusieurs milliers
Aluminium oxyde	7
Tantale oxyde	11

La capacité est donc directement liée à la surface et donc au volume, ainsi qu'à la valeur de la constante diélectrique. Cela explique qu'un condensateur de 20 μ F au polycarbonate soit très volumineux en comparaison d'un condensateur électrolytique, aluminium en tantale, de même valeur.

Le schéma équivalent d'un condensateur en régime alternatif peut se représenter de la manière suivante :



L_s : somme des inductances séries.

R_s : somme des résistances séries.

R_p : somme des résistances parallèles (négligeable en régime alternatif).

La réactance capacitive s'écrit :
 $X_c = 1/2\pi fC$,

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R_s}{X_c - X_L}$$

$$\operatorname{tg} \delta = R_s C \omega = 2\pi f R_s C$$

pour $f \ll f_0$

On notera que la self L_s intervient dans le comportement du condensateur en fonction de la fréquence, alors que R_s influe sur celle de la tangente de l'angle de perte.

Il faut remarquer que les paramètres utilisés pour définir un condensateur sont déterminés en régime statique (une seule fréquence sinusoïdale). En régime musical, tout le spectre est excité simultanément avec toutes les relations de phase et d'amplitude que cela implique. Aussi, l'approche théorique habituel des condensateurs est-elle très limitée. Il conviendrait d'analyser le comportement en régime transitoire pour mieux appréhender le comportement réel.

Un condensateur est un réservoir d'énergie. Lorsque le niveau de ce réservoir change à cause des paramètres cités ci-dessus, il reste des pertes d'énergie à l'intérieur du condensateur.

Ces pertes d'énergie, elles-mêmes variables, font vibrer le condensateur. On dit qu'il « chante ». S'il chantait de façon parfaitement fidèle, le mal

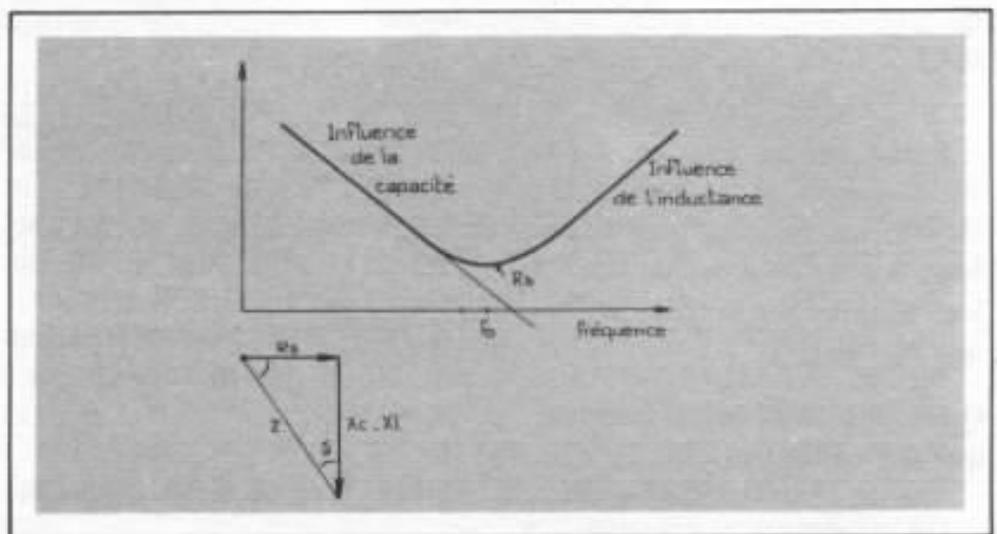
la réactance inductive :

$$X_{L_s} = 2\pi f L_s,$$

et l'impédance :

$$Z = \sqrt{R_s^2 + (X_c - X_L)^2}$$

L'angle de perte se détermine aisément à partir d'une représentation vectorielle.



ne serait pas gênant car il se contenterait de prélever un peu d'énergie.

Malheureusement, ces vibrations sont sélectives, cela signifie que le condensateur prélève de l'énergie de façon non linéaire, ce qui engendre une distorsion du signal.

Ces vibrations sont au centre du problème du son des condensateurs. Ce sont elles qui font que celui-ci sera « plus ou moins agréable ».

Le niveau des vibrations dépendra de tous les paramètres du condensateur. Il augmentera si les pertes sont plus grandes. Une fois le niveau de ces dernières établi, elles pourront être modifiées en fonction de la rigidité du bobinage, de la qualité de l'enrobage du condensateur et de la masse de celui-ci.

Il est très important de remarquer que la qualité du diélectrique n'est pas le seul paramètre important. La qualité de la fabrication et la masse du condensateur sont encore plus déterminantes. Il est primordial de comprendre le pourquoi du « son » d'un condensateur, afin de déterminer sa qualité. En effet, s'il est intéressant de savoir que telle ou telle marque de condensateur donne un son plus ou moins dur ou plus ou moins doux, et d'en déduire que telle ou telle technologie sonne agréablement, il faut beaucoup se méfier d'opinions qui peuvent être déterminées par une compensation de défauts. Aussi, allons-nous ouvrir ici une parenthèse sur le rôle que peuvent avoir des composants passifs dans l'équilibre d'une chaîne.

ROLE DES COMPOSANTS PASSIFS DANS L'EQUILIBRE D'UNE CHAÎNE

Si la chaîne présente une balance agressive, le choix des cordons, des résistances, des condensateurs ayant un son assez doux, peut rendre la reproduction sonore plus agréable. Cette conception défendable peut se discuter si l'on prétend atteindre une qualité maximale. En effet, c'est une attitude peu scientifique.

A l'opposé, il semble beaucoup plus important d'utiliser les composants les plus parfaits possible, c'est-à-dire ne présentant aucun défaut. La balance globale se fera au niveau du haut-parleur et accessoirement de la cellule. Ces éléments restant imparfaits, ils permettent une marge de changement de l'équilibre sonore beaucoup plus importante. Ainsi, plutôt que d'utiliser un amplificateur ayant une forme de distorsion douce et agréable, il est beaucoup plus important d'avoir un amplificateur sans distorsion, ou encore mieux un amplificateur dont l'interface avec le haut-parleur permet une réduction de la distorsion de ce dernier, particulièrement en ce qui concerne le traînage. Ce dernier point est très important. Beaucoup d'amplificateurs favorisant le traînage du haut-parleur dans le grave sont considérés comme subjectivement « doux, agréables, chauds », car ils procurent un équilibre subjectif favorable aux fréquences basses, ce qui tend à compenser la perte de niveau du haut-parleur dans l'extrême grave, inévitable dans des conditions acoustiques normales. C'est la raison pour laquelle presque toutes les tentatives

d'écoute subjective collective sont vouées à l'échec. Pour pouvoir quantifier les impressions reçues, il faudrait pouvoir diviser l'écoute en grave, médium et aigu, puis demander les impressions sonores perçues séparément.

Ainsi, un amplificateur qui favorise le niveau subjectif dans le grave peut être considéré comme ayant de meilleures basses, une meilleure image, un son plus doux, un meilleur équilibre. En contrepartie, il sera peut-être jugé comme ayant une dynamique un peu moindre. Un amplificateur de meilleure qualité, mais donnant un équilibre subjectif différent, pourra être taxé de basses sèches, de médium en avant, de son dur, d'une balance défaillante et peut-être le trouvera-t-on légèrement plus dynamique. Une correction du niveau de l'extrême grave rétablissant un équilibre correct, démontrerait aisément que le second amplificateur est meilleur. De ce point de vue, une chaîne sans aucune possibilité de correction électrique, ce qui est malheureusement la règle dans le matériel « haut de gamme », est une aberration aussi bien sur le plan des mesures que sur celui de l'écoute. Cela entraîne généralement un choix discutable des maillons électromécaniques, que ce soit le haut-parleur ou la cellule, pour tenter de compenser une courbe de réponse globale définitive. Ainsi, combien de fois a-t-on entendu dire qu'un phonolecteur coupe les aigus à 10 kHz, ce qui est en contradiction parfaite avec les mesures, simplement parce qu'il ne présente pas une importante remontée de niveau dans l'extrême aigu et, par ce fait, ne compense pas la perte de l'extrême aigu, que présentent tous les haut-parleurs

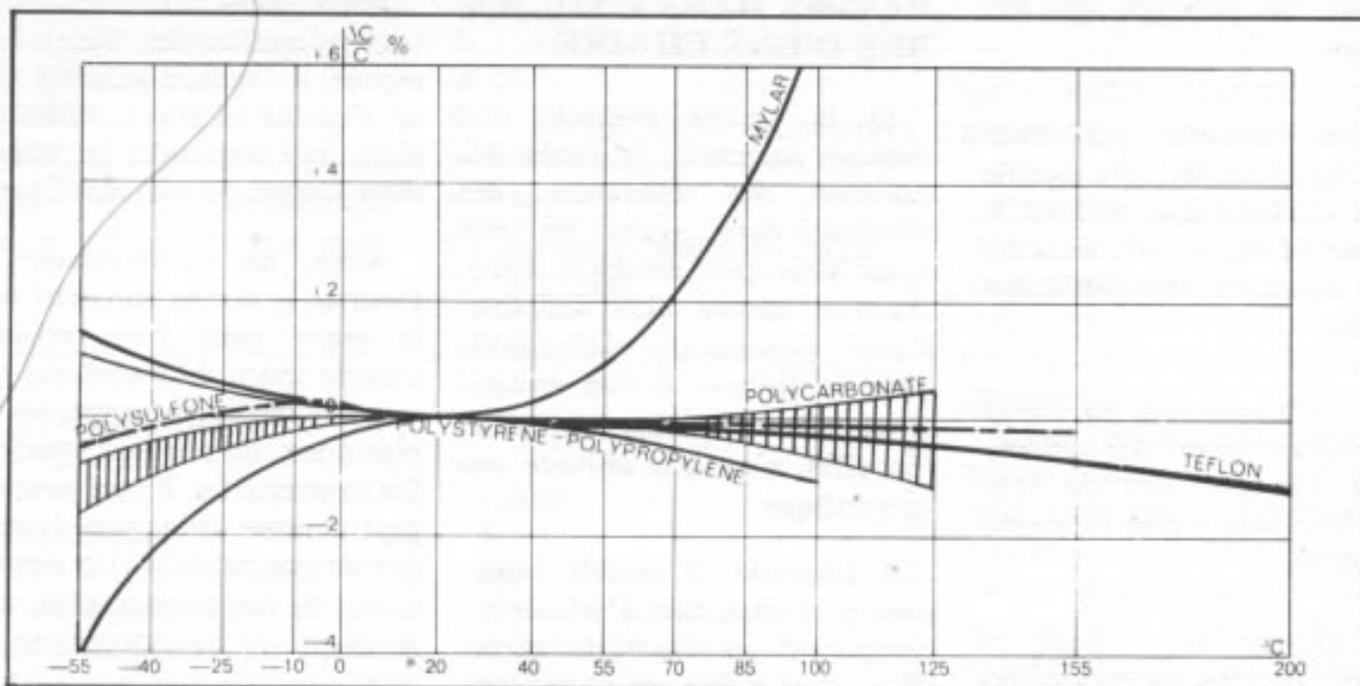


Fig.1 : Variation de la capacité en fonction de la température pour les divers diélectriques.

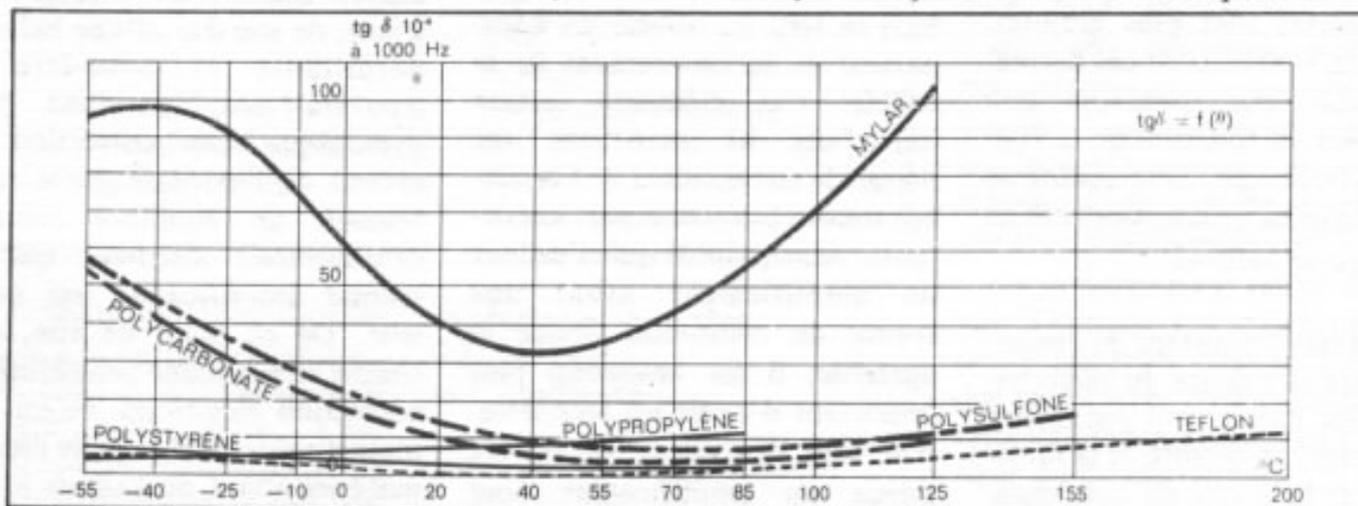


Fig.2 : Variation de la tangente de l'angle de pertes en fonction de la température pour les divers diélectriques

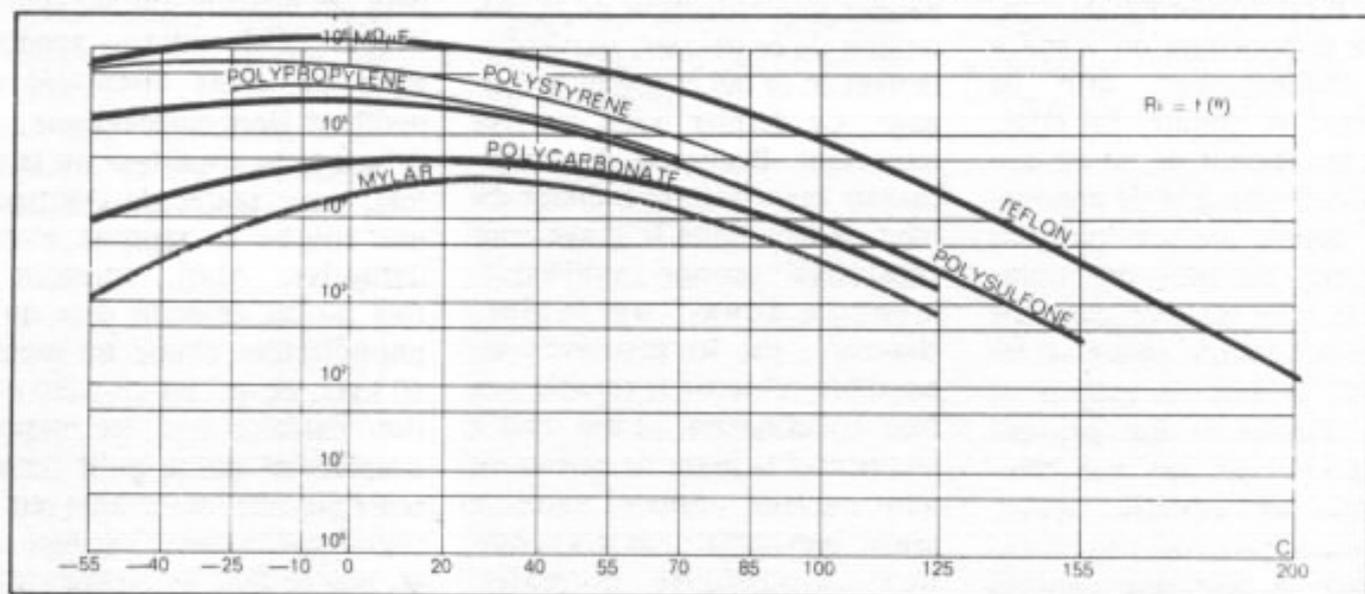


Fig.3 : Evolution de la résistance d'isolement en fonction de la température pour les divers diélectriques

mesurés à 4 mètres dans une salle de séjour aux conditions d'absorption normales.

L'influence de la qualité des composants « passifs » dans la reproduction du son est importante. Elle ne doit pas jouer le rôle d'une « prothèse » dans une chaîne bancale. Il est, par conséquent, important de déterminer de façon rigoureuse quels sont les paramètres dans la technologie des composants qui ont une influence sur la qualité de la reproduction.

TECHNOLOGIE DES CONDENSATEURS NON POLARISES

Nous verrons en premier le rôle du diélectrique, puis celui de la réalisation mécanique du condensateur.

Le diélectrique

En ce qui concerne le diélectrique, nous distinguerons deux catégories : les diélectriques à film plastique et les diélectriques à base de matériaux divers, papier, mica, verre et céramique.

Diélectrique à film plastique

• Polyester

Le diélectrique plastique le plus courant est le film polyester appelé mylar. Ce diélectrique est d'une qualité suffisante pour la plupart des usages. La tangente de l'angle de perte atteint 80×10^{-4} . C'est le plus élevé des diélectriques polyester.

• Polycarbonate

L'autre diélectrique le plus courant est le polycarbonate. C'est le matériau de base en ce qui concerne les condensateurs d'usage professionnel. La tangente de l'angle de perte est réduite de plus de la moitié par rapport au film polyester.

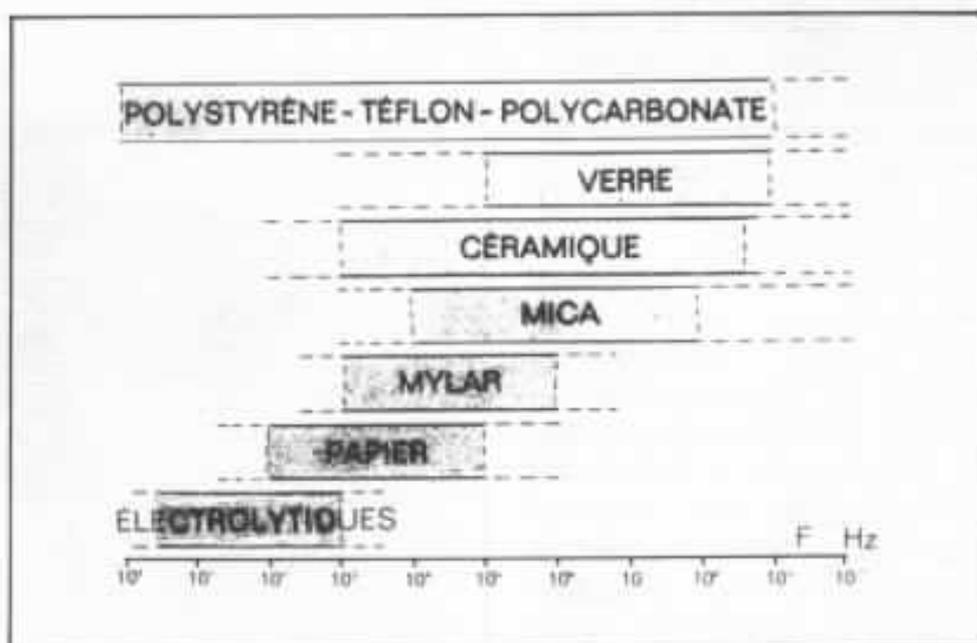


Fig.4 : Comportement des condensateurs en fonction de la fréquence

D'autre part, les variations de la capacité en fonction de la fréquence et en fonction de la température sont excellentes, ce qui n'est pas le cas du polyester. Si l'on fait intervenir le coût du composant, cette technologie représente un bon compromis pour un usage en basse fréquence.

• Polysulfone et téflon

Ces diélectriques sont excellents, surtout le téflon. Mais, leur coût très élevé n'est pas justifié en basse fréquence car leur

seule supériorité par rapport au polypropylène et au polystyrène est leur capacité de fonctionner à de hautes températures allant jusqu'à 155° pour les polysulfones et jusqu'à 200° pour le téflon.

• Polypropylène et polystyrène

Sur le plan diélectrique, le polypropylène et le polystyrène sont d'excellents matériaux. Leur tangente de l'angle de perte est inférieure à 10×10^{-4} , leurs pertes en fonction de la fréquence sont excellentes, et la sta-

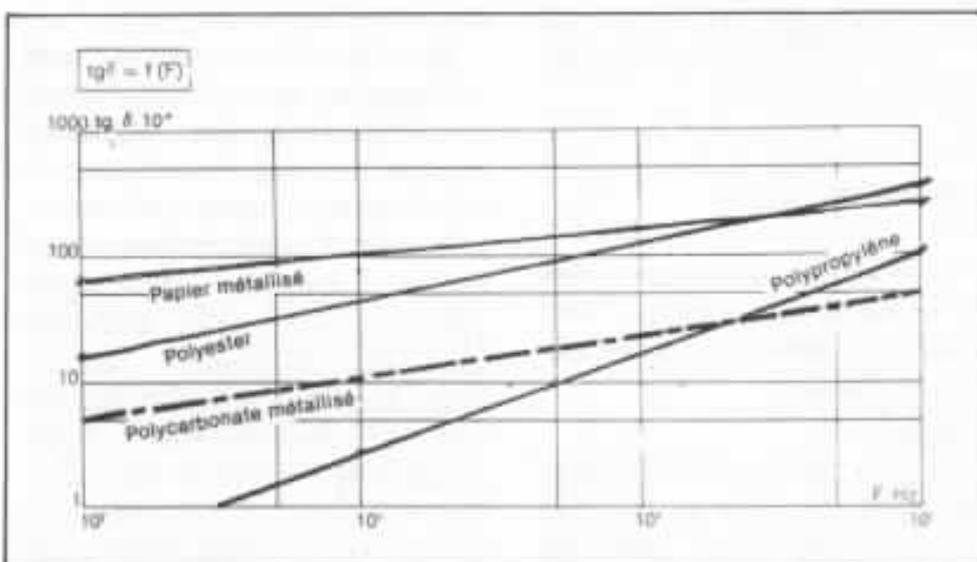


Fig.5 : Evolution de la tangente de l'angle de pertes en fonction de la fréquence pour les divers diélectriques.

bilité en température et dans le temps sont aussi remarquables. D'autre part, ce sont des condensateurs permettant d'obtenir de très bonnes précisions (correction RIAA, filtre électronique pour le perfectionniste, ...).

Le défaut majeur du polypropylène est son coût élevé. En ce qui concerne le polystyrène, le fait que ce diélectrique ne se fasse pas en technologie métallisée a comme inconvénient un encombrement élevé qui en limite l'usage aux capacités de petites valeurs. Pour le perfectionniste, le diélectrique polypropylène dans sa technologie métallisée est excellent. Il permet de réaliser des condensateurs d'un volume raisonnable, autorisant le remplacement de capacités de qualité inférieure, du moins en ce qui concerne des tensions d'isolement à partir de 160 volts.

Beaucoup d'américains ont transformé des appareils, en particulier des préamplificateurs PAS3X et des amplificateurs Dynaco MKIII, en remplaçant les condensateurs polyester par des polypropylènes. Ils parlent tous d'une étonnante amélioration de la qualité sonore. Nous voilà loin de l'opinion de certains qui pensent encore que tous les amplificateurs correctement conçus sont identiques.

Diélectriques divers

Nous allons maintenant aborder les autres technologies. Nous parlerons d'abord des condensateurs au papier.

• Papier

Ce sont les ancêtres des condensateurs. Ils ont parfois une mauvaise réputation, mais cela vient surtout d'une mauvaise réalisation mécanique. En effet,

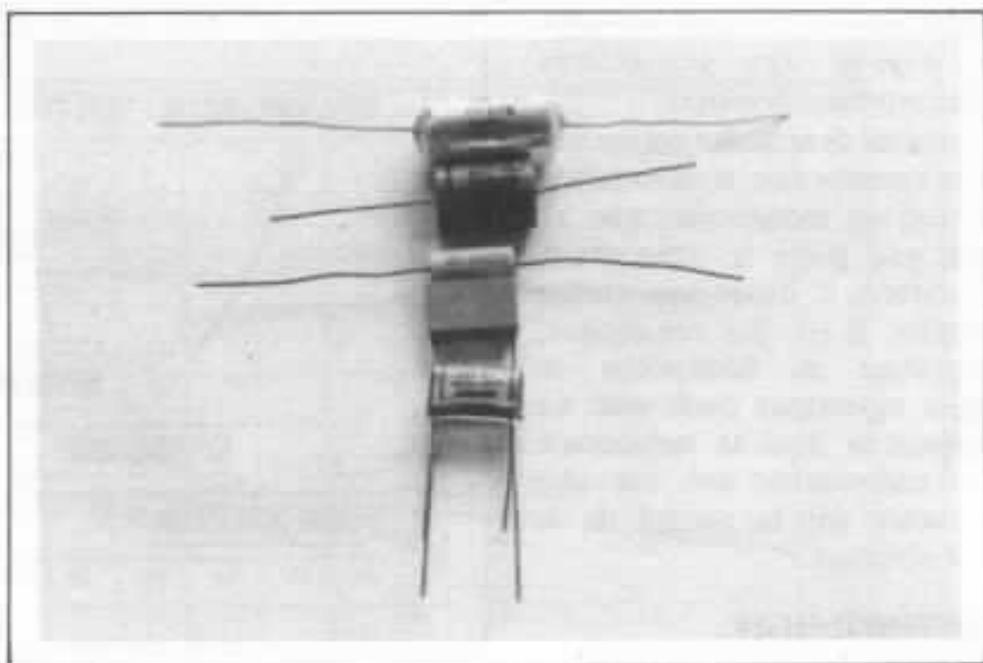


Fig.6 : Condensateurs de 47 nF. De haut en bas polystyrène, mixte polycarbonate + papier, polyester à armatures, polycarbonate, papier métallisé.

les condensateurs au papier étaient faits d'armatures métalliques et de ruban de papier enroulé de façon assez lâche, le tout étant glissé dans un tube de verre obturé par de la cire. Le contact avec les armatures n'était fait qu'en un point de celles-ci. Voilà toutes les conditions réunies pour engendrer un condensateur de mauvaise qualité. Il est mal tenu mécaniquement, donc il vibre. Ses résistances de contact sont importantes et il est inductif.

Pourtant, les condensateurs au papier peuvent présenter d'excellentes qualités. Certains papiers pas trop denses se prêtent bien à un usage en courant alternatif. Les condensateurs en boîtier à armatures métalliques prévus pour un usage alternatif sont particulièrement intéressants pour la réalisation des filtres de haut-parleurs. Leur masse importante et leur aptitude à passer de gros courants correspondent exactement à cet emploi. Bien que d'un prix élevé, ces condensateurs associés à des

selfs de qualité peuvent transformer complètement une enceinte acoustique.

Pour des tensions d'usage à partir de 250 volts, l'encombrement des condensateurs au papier métallisé est du même ordre que celui des condensateurs au mylar. Mais, ils ont sur ces derniers des avantages. Leur facteur de perte appelé aussi facteur de dissipation, bien qu'assez élevé, est beaucoup plus constant, tant en température qu'en fréquence. En particulier, pour un usage basse fréquence, le fait que les pertes soient plus constantes en fonction de la fréquence est très important. D'autre part, surtout lorsqu'il est imprégné de résine époxy, le papier présente une plus grande rigidité que les films plastiques. Bien que les pertes dans le diélectrique soient assez grandes, la très bonne tenue mécanique de ces condensateurs leur confère d'étonnantes qualités pour un usage basse fréquence. Voilà un exemple où l'amélioration de la technologie peut remettre au

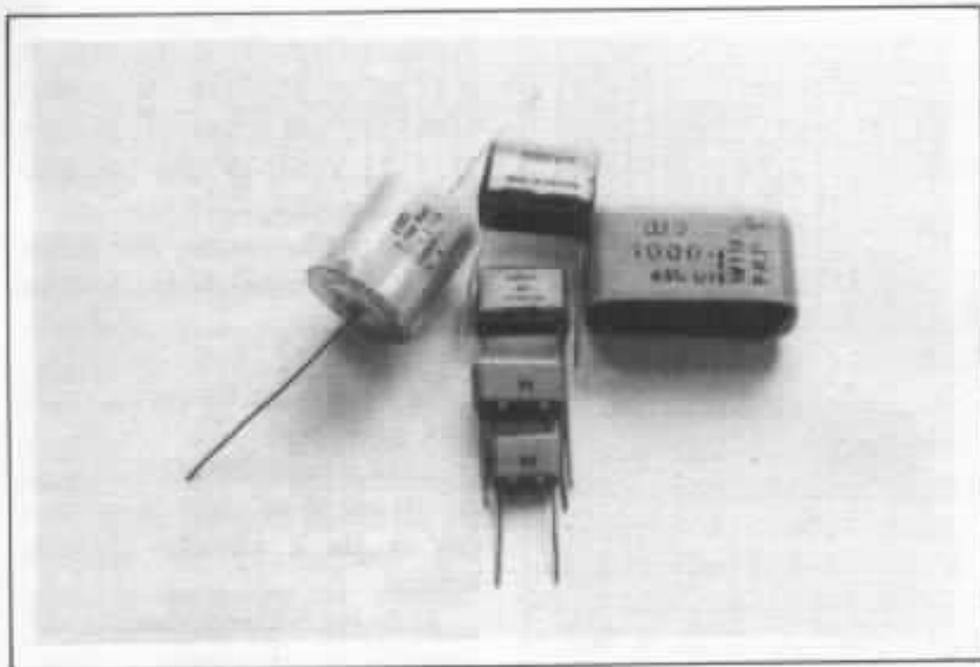


Fig. 7 : Condensateurs de 0,1 μ F. Suivant la tension d'isolement et la technologie le volume varie dans de fortes proportions.

jour une technique ancienne. Les condensateurs au papier métallisé sont sûrement ceux qui présentent le meilleur rapport qualité/prix pour un usage en basse fréquence.

• Mica

Les condensateurs au mica, lorsqu'ils sont bien réalisés, sont eux aussi excellents pour un usage en basse fréquence. Leurs pertes diélectriques sont réduites dans une bande passante très large. Cependant, le contact avec les couches de métallisation est difficile à réaliser. D'autre part, leur encombrement très élevé et leur coût proportionnel à la valeur du condensateur en limitent l'usage à des capacités de valeur assez petite. On peut reprendre les mêmes arguments en ce qui concerne les condensateurs à diélectrique en verre, sauf que l'encombrement et le coût sont encore plus élevés. La valeur de ces condensateurs ne dépasse pas 10 000 pF. Malgré tout, leur exceptionnelle rigidité fait qu'ils restent intéressants pour les perfectionnistes. Ils peu-

vent s'employer dans une cellule d'une correction RIAA et pour certaines valeurs de filtres électroniques.

• Céramique

Bien que les condensateurs céramiques puissent présenter d'excellentes caractéristiques, ils sont les plus médiocres pour un usage basse fréquence. Cela provient en partie de leur taille très réduite. Leur très bonne tenue aux très hautes fréquences ne les rend aptes qu'à la stabilisation des amplificateurs, bien que pour cet usage les condensateurs polystyrène soient préférables, ne serait-ce qu'en raison de leur précision et de leur stabilité.

Exemple d'un diélectrique mixte

Il existe aussi des technologies mixtes. Ainsi, spécialement pour de grosses capacités pouvant recevoir des tensions élevées, il existe des techniques polypropylène et papier ou papier métallisé et polypropylène, ce qui leur confère en général les qualités des deux diélectriques.

Pour bien montrer que cette énumération des qualités des diélectriques n'est pas inutile, nous choisirons un exemple de condensateur. Il s'agit de la série HT72 de chez Eurofarad. Ces condensateurs de haute tension se font à partir de 630 volts. Leurs armatures sont des feuilles métalliques. Le diélectrique est composite, il est fait de polycarbonate et de papier imprégné de résine époxy. La tangente de l'angle de perte est bonne et la stabilité excellente. Mais, surtout, ces condensateurs sont exceptionnellement rigides, ce qui en fait peut-être les meilleurs condensateurs pour un usage basse fréquence. Malheureusement, ils présentent l'inconvénient d'un volume qui, peut-être excessif, est d'un coût élevé. Leur encombrement et leur prix restent toutefois sensiblement inférieurs aux condensateurs mica-argentés. Leur emploi est assez aisé dans les amplificateurs à tubes n'utilisant pas de circuit imprimé.

Réalisation mécanique

Les armatures

Un condensateur est généralement un bobinage composé de deux armatures et de deux isolants. Les armatures sont en aluminium ou en étain et, pour un usage basse fréquence, leur épaisseur est comprise entre 5 et 7 μ m. Celle du diélectrique dépend de la tension d'isolement, sa valeur est généralement comprise entre 6 et 30 μ m. Lorsque le diélectrique est du papier, son épaisseur est comprise entre 7 et 15 μ m. Ce papier est un genre de papier Kraft. Comme il présente toujours de petites perforations, il est nécessaire d'utiliser deux couches de diélectrique. L'imprégnation du papier est

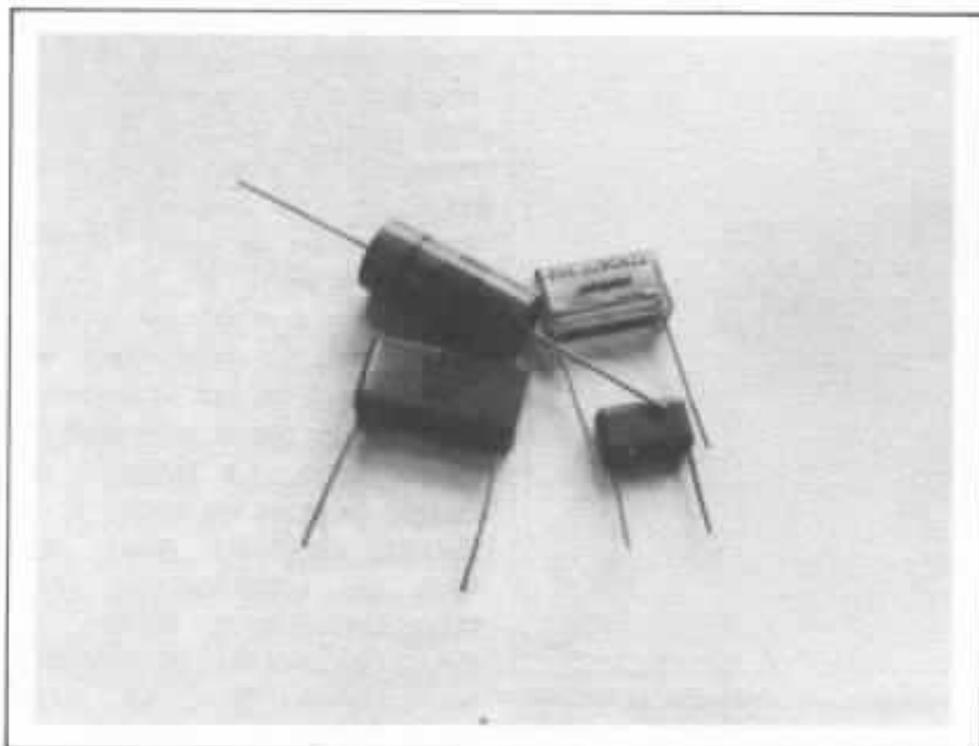


Fig.8 : Condensateurs de $0,22 \mu\text{F}$. Variation de l'encombrement en fonction de la technologie pour une tension de service identique.

généralement à base d'huile. Par rapport aux condensateurs à diélectriques métallisés, les condensateurs à armatures autorisent le passage de plus gros courant, ce qui leur permet un meilleur travail aux hautes fréquences. La différence de module d'Young

entre les armatures et le diélectrique favorise l'amortissement des vibrations internes. Ils l'emportent, en général, en qualité sur les condensateurs métallisés. Ils ont, en contrepartie, le défaut de l'encombrement. Pour donner un ordre de grandeur, un con-

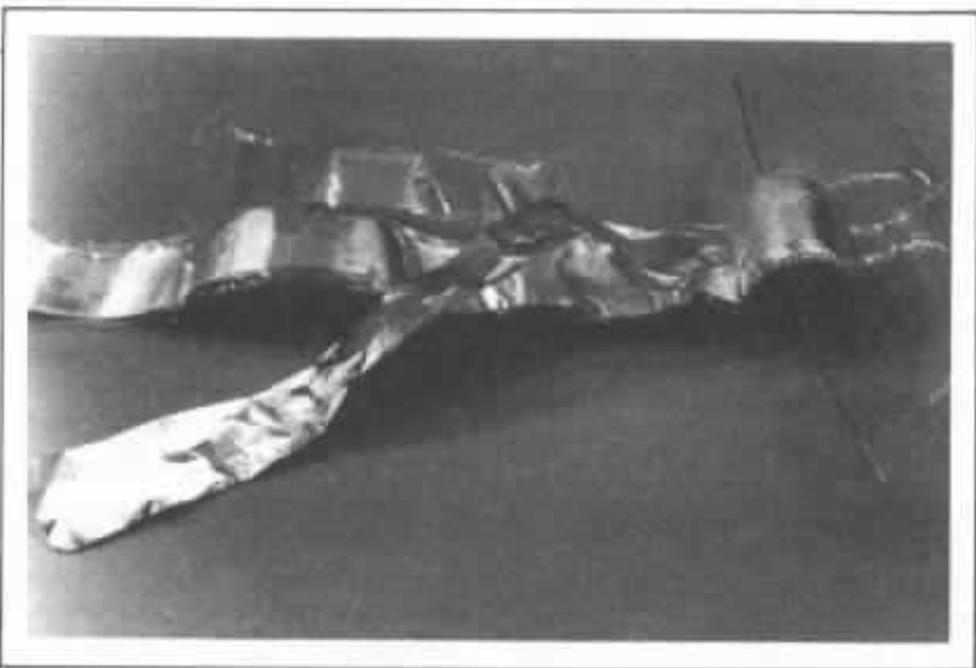


Fig.9 : Détail montrant la réalisation d'un condensateur polystyrène. Réalisé par enroulement, chaque armature et séparé de la suivante par deux couches de diélectrique. Cela pour obtenir une tension d'isolement suffisamment élevée.

densateur polypropylène de forme cylindrique à armature de $0,47 \mu\text{F}$ et 630 volts de tension service, a un diamètre $D = 32,5 \text{ mm}$ et une longueur $L = 33 \text{ mm}$.

Un condensateur de même valeur en polystyrène métallisé donne pour : $L = 32,5 \text{ mm}$, $D = 15 \text{ mm}$. Son encombrement en volume est presque cinq fois plus petit. Par contre, le courant admissible maximum est de 10 ampères dans le premier cas et de 2 ampères dans le second.

Tous les condensateurs à diélectrique plastique ainsi que ceux à diélectrique verre et papier sont réalisables sous forme de techniques à armatures.

La métallisation

Pour des questions d'encombrement essentiellement, la majorité des condensateurs sont réalisés par métallisation sous vide du diélectrique. Cette couche de métallisation en aluminium ou en zinc est beaucoup plus fine que les armatures de métal, elle est de l'ordre de $0,02 \mu\text{m}$. La suppression des armatures entraîne donc une très grosse réduction de volume. D'une façon plus générale, une tension d'isolement plus élevée que la tension utile entraîne des avantages du même ordre que ceux des condensateurs à armatures. Plus la tension est élevée, plus les courants possibles, particulièrement aux hautes fréquences, sont élevés. D'autre part, l'augmentation de la masse du condensateur limite les vibrations internes et les rend plus neutres à l'écoute. Ici, nous retrouvons aussi un problème de volume. Par exemple, un condensateur au polycarbonate métallisé de $1 \mu\text{F}$ 63 volts a pour dimensions : $L = 19$ et

$D = 7,5$ mm, alors qu'en isolement 400 volts, $L = 30$ et $D = 20$ mm. Les rapports de volume sont de 1 à 12.

Les condensateurs métallisés seront très intéressants à utiliser lorsque des valeurs de capacité élevées seront associées à des tensions de service élevées. En effet, dans ce cas, les condensateurs à armatures sont très encombrants. Lorsqu'un condensateur est trop gros, il peut perturber un montage en engendrant des capacités parasites de câblage importantes. Si on l'utilise dans les étages d'entrée de préamplificateurs, il peut être très sensible à l'induction et détériorer le rapport signal/bruit. Dans le cas de son emploi dans des amplificateurs à tubes, ces phénomènes sont accentués par l'impédance élevée des circuits.

La réalisation mécanique du condensateur joue un rôle important. Le bobinage doit être bien serré et bien régulier. La métallisation des extrémités doit être suffisamment épaisse et assurer un très bon contact.

C'est elle qui garantira la faible induction du bobinage. La soudure des queues sur la métallisation devra elle aussi effectuer un un très bon contact.

La forme

La forme du condensateur a aussi son importance. Les condensateurs courts et trapus permettent le passage de plus gros courants, ce qui favorise la charge et la décharge du condensateur. Malheureusement, pour une question de normalisation des pas, la plupart des condensateurs de faible valeur présentent une longueur beaucoup trop grande.

Valeur	Dimensions	Courant max
0,1 μ F	L = 27, D = 17,5	4 A
	L = 45, D = 12,5	2,5 A
68 nF	L = 27, D = 15	3,15 A
	L = 33, D = 12,5	2,5 A

Nous prendrons pour illustrer cet exemple des condensateurs en polypropylène à armatures isolées à 630 Volts, d'une valeur de 0,1 μ F et 68 nF. Les dimensions et le courant alternatif max sont donnés dans le tableau.

Le boîtier

La qualité du boîtier est aussi très importante. Il joue un rôle d'amortissement des vibrations qui se situe à plusieurs niveaux : les matériaux qui le composent, la qualité de la réalisation mécanique, le rapport de masse entre le bobinage du condensateur et le boîtier.

Les matériaux constituant le boîtier doivent être rigides. Il

semble que ce sont les condensateurs surmoulés en résine époxy qui présentent les meilleures qualités. Cependant, certains condensateurs enrobés de polyester dans un boîtier plastique peuvent être excellents. C'est le cas des condensateurs EFCO PMR. Par contre, les condensateurs enrobés par trempage présentent de mauvaises qualités de rigidité.

Pour des raisons de même ordre, les condensateurs « plastiques » MKH Siemens sont déconseillés pour un usage basse fréquence.

Leur masse très réduite et leur quasi absence de boîtier leur confèrent de mauvaises qualités mécaniques, bien que leurs

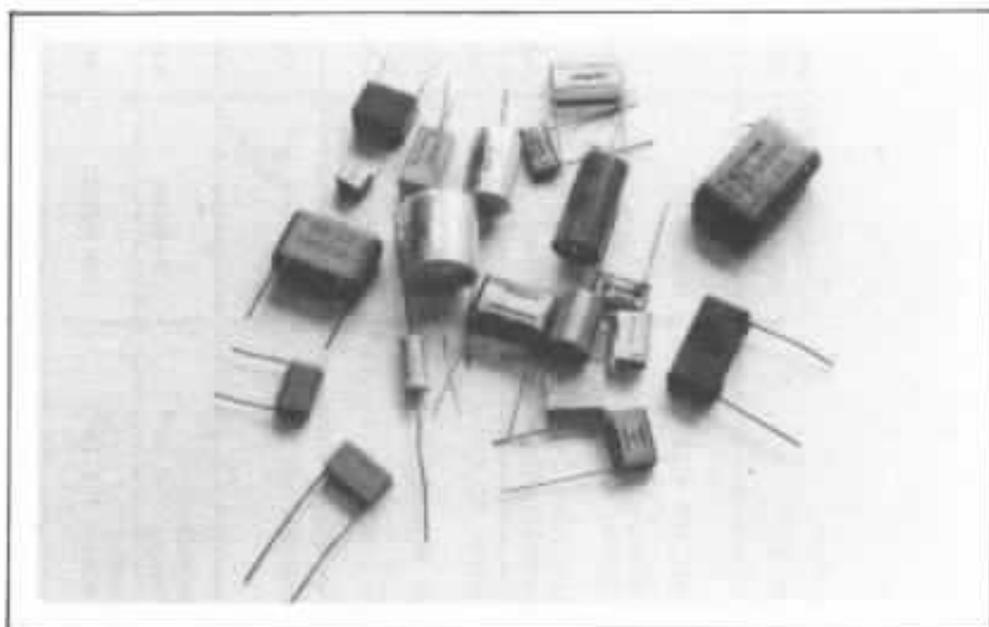


Fig.10 : Exemple de condensateurs non polarisés.

Diélectrique Tg à 1 kHz	Variation de la Tg ₀ avec la fréquence		Stabilité en température	Rigidité	Encombrement	Echelle de tension à partir de	Usages recommandés en B.F.
	avec la fréquence	avec la température					
Polyester 100 × 10 ⁻⁴	médiocre	moyenne	bonne	bonne	réduit	63 volts (40)	condensateur de liaison,
Polycarbonate usage général 40 × 10 ⁻⁴	moyenne	bonne	bonne	bonne	réduit	63 volts (40)	condensateur de découplage lorsque
Polycarbonate haute stabilité 20 × 10 ⁻⁴	bonne	très bonne	très bonne	bonne		63 volts (40)	la valeur le permet
Polysulfone 20 × 10 ⁻⁴	très bonne	très bonne	très bonne	bonne	élevé	63 volts	usages particuliers,
Téflon 10 × 10 ⁻⁴	très bonne	très bonne	très bonne	très bonne	élevé	250 volts	hautes températures :
Téflon + armature 5 × 10 ⁻⁴	très bonne	très bonne	très bonne	très bonne	très élevé	160 volts	150° pour les polysulfones et 200° pour le téflon
Polypropylène 10 × 10 ⁻⁴	très bonne	très bonne	très bonne	bonne	moyen	160 volts	liaison, amélioration d'un condensateur par découplage de celui-ci
Polypropylène + armature 5 × 10 ⁻⁴	très bonne	très bonne	très bonne	bonne	élevé	63 volts	liaison, correction RIAA, filtre électronique, tonalité
Polystyrène + armature 3 × 10 ⁻⁴	très bonne	très bonne	très bonne	moyenne	très élevé	63 volts	correction RIAA, filtre électro- nique, correcteur de tonalité. Ne se font pas en technique métallisée
Papier 120 × 10 ⁻⁴	moyenne	bonne	bonne	bonne, très bonne si imprégné d'époxy	réduit	250 volts	liaison, découplage
Papier + armatures 90 × 10 ⁻⁴	moyenne	bonne	bonne		très élevé	250 volts	filtre de haut-parleur
Mica argenté 10 × 10 ⁻⁴	très bonne	très bonne	très bonne	très bonne	très élevé	63 volts	correction RIAA, filtre élec- tronique, correcteur de tonalité
Polycarbonate 40 × 10 ⁻⁴ + papier imprégné d'époxy	moyenne	bonne	bonne	très bonne	élevé	630 volts	liaison, filtre HP pour tweeter découplage haute tension
Polypropylène 25 × 10 ⁻⁴ + papier	bonne	très bonne	très bonne	bonne	élevé	160 volts	filtre HP, découplage haute ten- sion, filtrage haute tension

caractéristiques électriques soient bonnes.

Conclusion

Pour résumer, nous allons regrouper dans un tableau les différents paramètres pouvant agir sur la qualité d'un condensateur et donner des préférences pour un usage basse fréquence.

Cependant, il est difficile de donner une valeur absolue. Un polycarbonate de très haute qualité pourra être aussi bon qu'un polypropylène. Mais, entre un polypropylène et un polyester, la préférence ira toujours au premier. De même, entre un polypropylène métallisé et un polypropylène à armatures de même qualité de réalisation, la préférence ira au polypropylène à armatures, chaque fois que le volume le permettra. Si le coût est important, il sera intéressant

d'utiliser des condensateurs au polyester de qualité, de marques différentes, afin de ne pas accumuler le même type de défauts. Ainsi, avec les ITT/PMT bien connus, il sera utile d'utiliser des condensateurs RIFA PHE 280, des EFCO PMR et des Eurofarad BR7/BA7, ces derniers se mélangeant bien avec les ITT qui, seuls, donnent souvent une sonorité assez dure. Il sera intéressant d'utiliser des valeurs de tensions de service très supérieures à celles qui sont nécessaires.

Lorsque le condensateur doit fournir un certain travail pour un coût peu élevé, les condensateurs RIFA au papier imprégné d'époxy PME 261 à 263 sont recommandés. Pour un coût plus élevé, les polystyrènes métallisés ou à armatures seront préférés. Lorsque le coût n'entre plus en considération, il sera très

conseillé d'utiliser les condensateurs Eurofarad HT 72, leurs bonnes caractéristiques électriques et leur exceptionnelle rigidité mécanique les rendant particulièrement aptes à l'audio. Dans une valeur de $0,47 \mu\text{F}$ en 630 ou en 1 000 volts, ils offrent une solution très efficace en tant que condensateurs de sortie de la correction RIAA d'un préampli Kanéda.

Cet article peut paraître confus, mais cela est dû en grande partie à l'extrême variété de la technologie des condensateurs. Il sera suivi d'un autre article sur les condensateurs électrochimiques. Ces derniers étant des condensateurs peu performants, de l'amélioration de leur technologie peut résulter une grande amélioration de la qualité sonore.

**Page non
disponible**

Japon : les nouveaux composants audio de haut de gamme

Jean Hiraga

Jusqu'à ces dernières années, on a, sans doute, été souvent surpris de constater, lors d'une visite à un salon de composants électroniques par exemple, que les diverses pièces détachées utilisées en hi-fi étaient loin d'être ce que l'on pouvait trouver de meilleur. Bien entendu, le commerçant pouvait toujours trouver des excuses du genre « le composant grand public est largement suffisant, il suffit de savoir bien s'en servir », ou bien « le matériel professionnel est trop cher, les appareils seraient invendables ». Seuls, quelques constructeurs de « haut de gamme » n'hésitaient pas à monter dans leurs appareils quelques rares pièces de haute qualité, à savoir potentiomètres, sélecteurs rotatifs ou connecteurs. Cependant, on avait toujours classé les composants électroniques en deux catégories principales : le « Grand Public » et la catégorie professionnelle.

Depuis, la qualité générale a, heureusement, évolué grâce aux progrès très rapides en électronique et en fabrication. A présent, et particulièrement au Japon, il existe une nouvelle catégorie de composants électroniques, une catégorie « Audio » ou « Hi-Fi », c'est-à-dire des pièces détachées comme les transistors, résistances, condensateurs, câbles, potentiomètres, etc... conçues pour une utilisation exclusive en hi-fi. Ici, on ne doit pas confondre composants professionnels et composants hi-fi. En effet, un composant « hi-fi », qui est toujours un

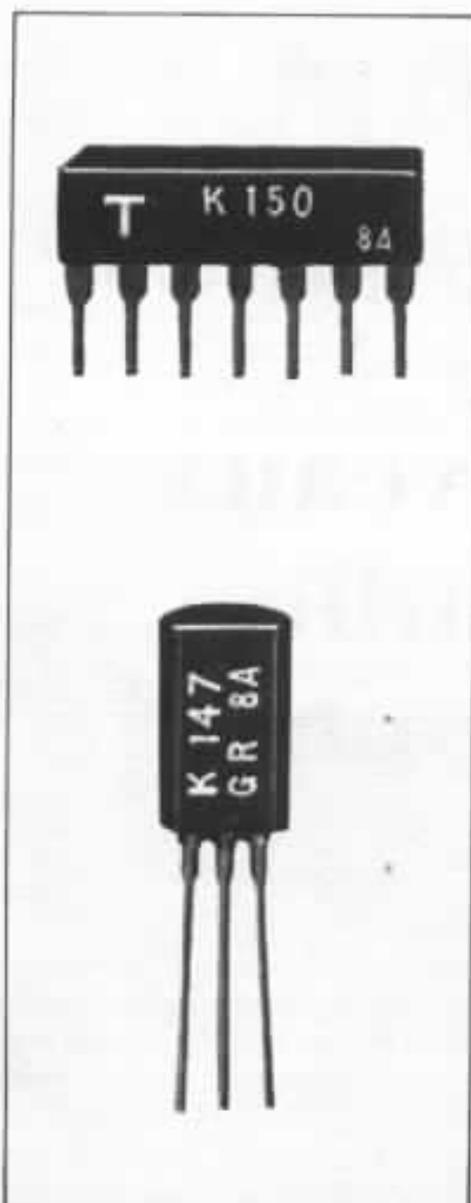
composant de qualité, n'est pas forcément un composant dit « professionnel » et vice versa.

Quelques-uns de ces composants vont être présentés ici et une partie d'entre eux sont déjà utilisés dans la fabrication en série de maillons hi-fi de qualité, voire de « haut de gamme ». Encore rares en France et en Europe, il est certain que de nombreux adeptes du domaine audio seront intéressés par ces nouveautés.

Transistors

Jusqu'ici, les transistors utili-

sés en haute fidélité n'étaient pour la plus grande majorité d'entre eux, que des versions standard, faible bruit, application industrielle, transistors pour lesquels chaque groupe d'ingénieurs créant un nouveau modèle de transistor ne concevait pas celui-ci pour une application exclusive en haute fidélité, avec toutes les exigences que cela implique. Si la différence était bien marquée entre un haut-parleur « standard » « professionnel » ou « hi-fi », elle l'était beaucoup moins pour les transistors et bien d'autres composants d'ailleurs.



Transistors à effet de champ conçus spécialement pour des applications audio de haut niveau de qualité : des séries 2SK 147, 2SK 150, à très faible bruit thermique (Toshiba).

Récemment, on a vu ainsi apparaître au Japon, sans doute à cause de nombreuses demandes, des commandes en gros de transistors de la part de gros industriels de la hi-fi. Ces transistors étaient spécialement conçus pour la reproduction basse fréquence de haute-fidélité par des ingénieurs connaissant bien la haute-fidélité.

Au début, ce n'était que des commandes spéciales passées par de grosses sociétés désirant lancer un maillon performant et

concurrent. Si, alors, les fabricants furent très réticents à se lancer dans de telles aventures leur faisant « perdre du temps et de l'argent », l'envergure que prirent la haute fidélité et ses industries annexes ne fut plus d'ordre à les laisser indifférents, vu la compétition et la concurrence actuelles sur le marché international. Et c'est pourquoi on peut, à présent, trouver chez chaque constructeur de transistors, de nouvelles séries « audio » ou « hi-fi ». La plupart des transistors de puissance des séries du genre VFET, V-MOSFET, RET, EBT, ont été conçus pour la haute fidélité, tant du point de vue qualité subjective que du point de vue facilité d'emploi dans les circuits amplificateurs.

Chez NEC, par exemple, les séries EBT (Emitter Ballast Transistor) 2SA 1007/2SC 2337A sont des paires complémentaires au P_c de 90 W et au I_c de 10A, conçues pour les étages de sorties d'amplificateurs. Toujours chez NEC, on trouve aussi les V-FET, transistors de puissance B.F. et Hi-Fi du genre 2SJ 20/ 2SK 70 (I_d : 10A, P_d : 100 W) ainsi que des séries plus courantes : les 2SA 627 / 2SD 188, qui sont aussi des séries Hi-Fi renommées pour leurs qualités subjectives.

Les concurrents, bien sûr, existent et chez Hitachi, Sony, Toshiba, Fujitsu, Shindengen, de nombreux modèles « audio » ont été mis sur le marché (2SJ 49/ 2SK 134, 2SJ 56/ 2SK 176, etc...), ainsi que de nouveaux transistors pour étages drivers, étages d'attaque, et pour préamplificateurs, soit au moyen de technologies nouvelles (V-MOS-FET, V-FET ; 2SJ 51/ 2SK 151 par exemple), soit sous

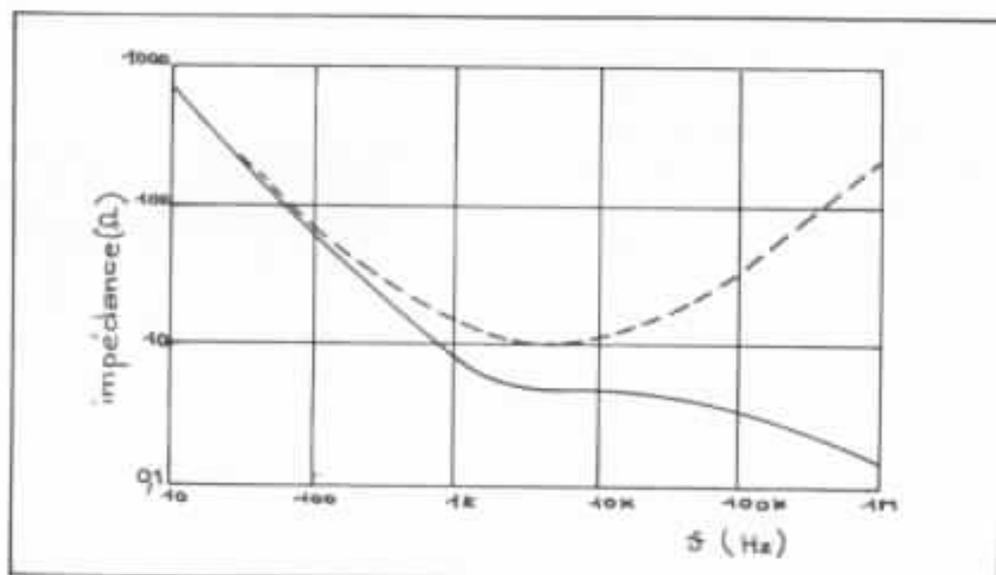
forme de versions à faible bruit, versions « audio » spéciales ou versions munies d'un suffixe A, X, LN, etc, signifiant audio, faible bruit, etc... Toutes ces nouveautés ont apporté de grandes améliorations sur les amplificateurs d'origine japonaise ces dernières années. Améliorations à la fois techniques et subjectives. En effet, jusqu'ici, la plus grande majorité des amplificateurs et préamplificateurs d'origine japonaise étaient assez justement considérés comme bien conçus, bien fabriqués, fiables, mais de performances techniques et subjectives assez communes, alors que l'on doit honnêtement considérer qu'un grand pas en avant a été fait en un peu plus de deux ans. Un autre point intéressant se rapportant au constructeur, est de constater que très souvent le prix de ces nouveaux composants n'est pas toujours plus élevé que celui des transistors de séries courantes des années 1970, en raison de la production de grande série de ces nouveautés.

Parmi les transistors audio spéciaux, on peut trouver chez le fabricant « Shindengen », par exemple, ceux à effet de champ, capables de travailler sous haute tension (250 V en moyenne), au point de pouvoir remplacer des tubes de série ECC 81, ECC 82 ou ECC 83. Bien que très difficiles à mettre au point (sous ces courants et tensions élevés, il se pose des problèmes de bruit thermique ou d'instabilité), de telles séries ont un avenir certain en haute fidélité.

Condensateurs

Il y a dans ce domaine de nombreuses nouveautés.

De plus en plus, on remplace petit à petit dans les préamplifi-



Caractéristique d'impédance pour un condensateur de série « Audio » de tension de service élevée (550 V, 22 μ F), de très faible résistance série, de type non selfique et capable de débiter un courant important aux fréquences élevées (225 mA).

(série Nippon Chemicon « Audio Gold series »).

En pointillé, un condensateur de série courante.



Exemple de condensateur électrochimique de série « audio » pour lequel la résistance série, très faible, améliore la caractéristique d'impédance aux fréquences élevées. Le taux de distorsion de -90 à -100 dB sur un condensateur électrochimique normal passe ici à près de -150 dB, alors que la distorsion par harmonique 3 est normalement prédominante.

(car, en général, la différence mesurée n'est pas aussi grande que la différence audible perçue). La valeur ESR (résistance série équivalente) qui peut se situer entre 80 et 500 m Ω pour un condensateur au mylar courant, au papier métallisé, ou au papier imprégné, passe, par exemple, à des valeurs très faibles de respectivement 11 m Ω , 8,1 m Ω , 6,7 m Ω et 1,5 m Ω pour les modèles d'origine ITT PMP/R, Marcon « NUA », Shinyei « Audio » et Soshin (série « SE »). De même, le taux de distorsion par harmonique 3, mesurable jusqu'à des valeurs extrêmement basses grâce à l'appareil d'origine danoise « Radiometer » (Component Linearity Test) peut passer de -91 dB (condensateur courant) à -146 dB (condensateur « audio »), ce qui démontre un progrès très net dans ce domaine.

Résistances

De nouvelles résistances « audio » sont maintenant de

plus en plus utilisées, en haute fidélité. Ce ne sont pas seulement des résistances ayant simplement une tolérance serrée de 1 % ou même 0,5 %, ou encore une faible dérive thermique et un bruit de fond réduit. La grande majorité de ces résistances utilisent des capuchons (s'emboîtant sur l'élément résistif, vu qu'une soudure directe n'est pas possible) et des connexions de sortie en cuivre pur. Des métaux magnétiques comme le fer sont de moins en moins utilisés pour des raisons, jusqu'ici non considérées, d'effet magnétique gênant, ou encore, au niveau des connexions par exemple, d'effet électrochimique dû à des métaux différents appliqués l'un contre l'autre. Ici, un appareil comme le Component Linearity Test, le CLT - 1 montre des différences très nettes entre résistances, mais malheureusement ceci ne donne pas de bonne corrélation avec le résultat de qualité subjective. Cette mauvaise corrélation est attribuée au fait que l'appareil donne non seulement une mesure de distorsion, mais aussi une mesure de bruit, pour lesquelles des résistances excellentes comme les modèles au carbone Allen Bradley sont défavorisées. Inversement, des résistances pratiquement « idéales », comme les Vishay, donnant le plus faible taux de distorsion, ne sont pas aussi parfaites à l'écoute. Ceci semble provenir de l'alliage résistif utilisé pour les résistances de très haute performance, qui est souvent formé de plusieurs métaux (par exemple le nickel et le chrome), alors que des résistances utilisant un seul métal, ou conducteur, sont subjectivement supérieures à l'écoute (résistances au carbone, à film de carbone, au tantale, etc.). Jusqu'ici, les résistances

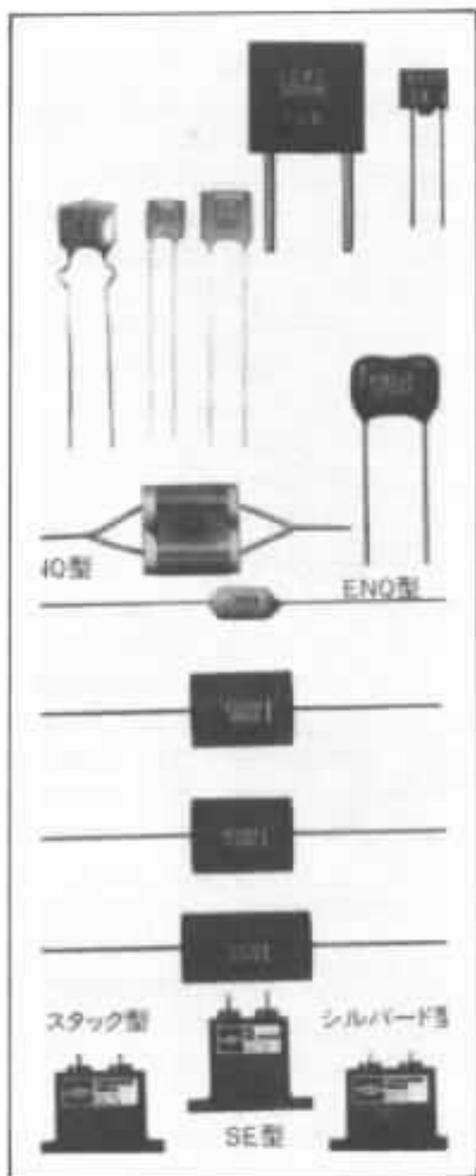


Condensateur de marque Taitsu, de série spéciale audio, utilisant, ce qui est fort rare, des armatures et des fils de sortie en cuivre, le tout imprégné dans une résine très dure. Ce genre de condensateur est devenu assez populaire récemment et son succès s'est traduit par la mise sur le marché de nombreux équivalents dans d'autres marques.

cateurs des condensateurs de couplage électrochimiques par des modèles de qualité supérieure, c'est-à-dire soit anti-selfiques, soit de version à très faible résistance série. Pour les petites valeurs (corrections de gravure RIAA, etc...), il a été créé des versions « spéciales audio » à faibles pertes, à armatures particulièrement rigides, à connexions de sortie utilisant des jonctions avec les armatures particulièrement bien étudiées (faible résistance de contact) et même, pour certains condensateurs « ésotériques », des condensateurs dont les fils de sortie sont en fil de Litz. En condensateurs électrochimiques, il existe de très nombreuses nouveautés « audio », la majorité étant des modèles non selfiques utilisant des armatures épaisses (feuilles d'aluminium de 200 à 300 microns d'épaisseur, au lieu de feuilles très fines et métalli-

sées) apportant une réduction notable de la caractéristique d'impédance aux fréquences supérieures à 10 kHz. Ces condensateurs électrochimiques sont pour la plupart de prix plus élevé que les versions industrielles courantes, mais ceci est surtout dépendant de la quantité de production.

La sortie sur le marché de tels composants est très profitable, car jusqu'ici la qualité avait subitement baissé en quelques années. La raison de cette baisse subite était (pour le Japon) de nouvelles restrictions, dues à la pollution des eaux interdisant l'utilisation de certains produits

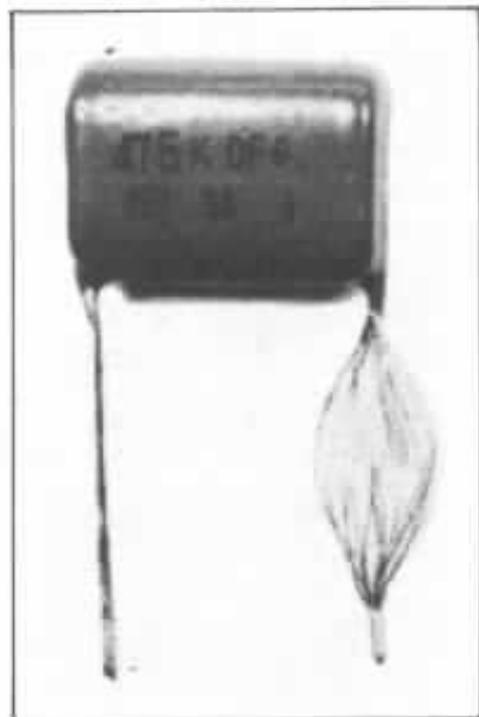


Condensateurs « audio » de la firme Soshin.

chimiques dans les condensateurs (tels que le « PCB »).

Le condensateur au mica argenté par exemple, aussi bon soit-il, est souvent vendu à un prix élevé dans presque tous les pays, uniquement parce qu'il s'agit d'un produit réalisé en très petites quantités, à une échelle presque artisanale.

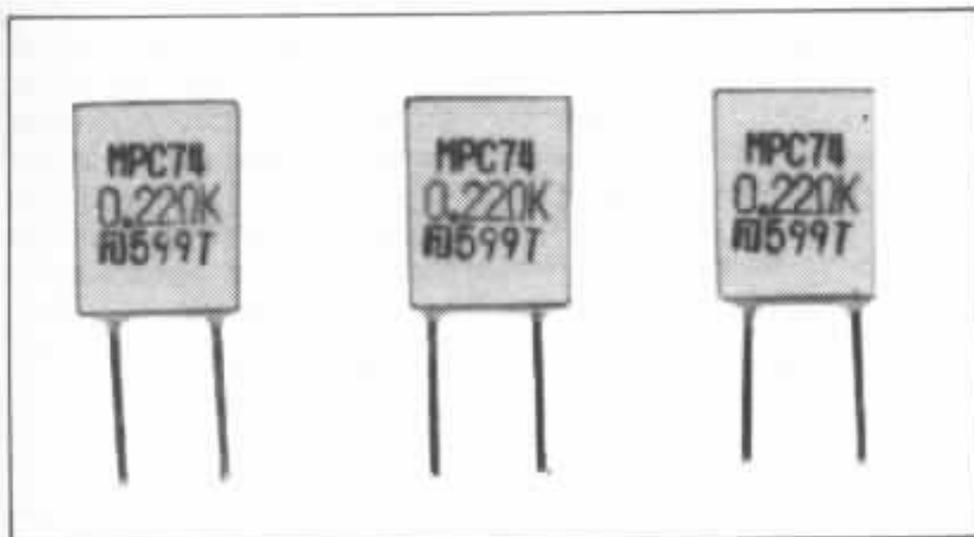
Ainsi, on trouve à présent au Japon, chez les plus grandes firmes de condensateurs, comme Fujitsu, Marcon, Nippon Chemicon, Okaya, Shinyei, Elna,



Condensateur « audio Twist L » utilisant des armatures très rigides, et des sorties en fil de Litz.

Soshin, de nouveaux condensateurs aux références « hi-fi » ou « audio », vendues sous des références spéciales telles que « NUM », « Super NUM », Sigma, Lambda TFJ, V, FCX-H « Audio », KX, SL, etc...

Pour les condensateurs de petite valeur, les séries « audio » ont effectivement, même aux mesures, des performances nettement supérieures par rapport aux condensateurs courants



Résistances à très faible bruit et de type amagnétique pour utilisation audio de marque « Fukushima ».

posaient de tels problèmes, ce qui apportait en utilisation audio une différence audible, soit par effet selfique, soit par effet électrochimique, ou soit par effet semi-conducteur. Défauts qui, autrefois considérés comme « négligeables », sont reconsidérés et tendent à être supprimés sur les nouveaux composants.

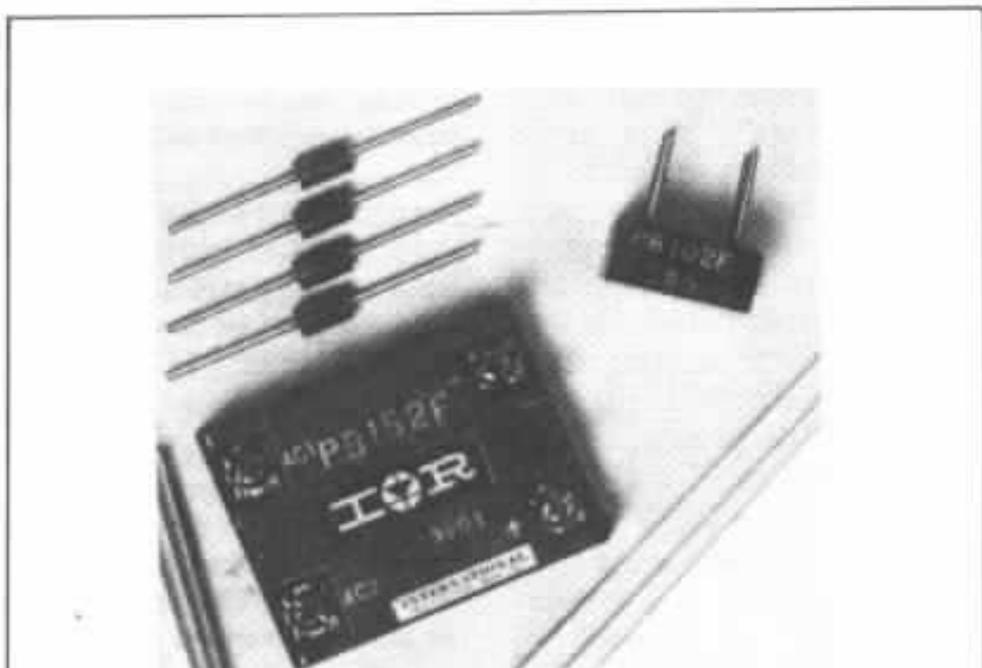
Parmi ces résistances, les prix sont très variables à cause de la technologie utilisée, mais certaines séries comme les modèles « FTR », par exemple, ont l'avantage de ne pas coûter plus cher qu'une résistance « normale ». Ceci démontre qu'il ne s'agit pas toujours d'une « excuse » de la part du fabricant qui essaie de faire monter les prix de vente.

Redresseurs au silicium « audio » : des diodes qui ne « piquent plus »

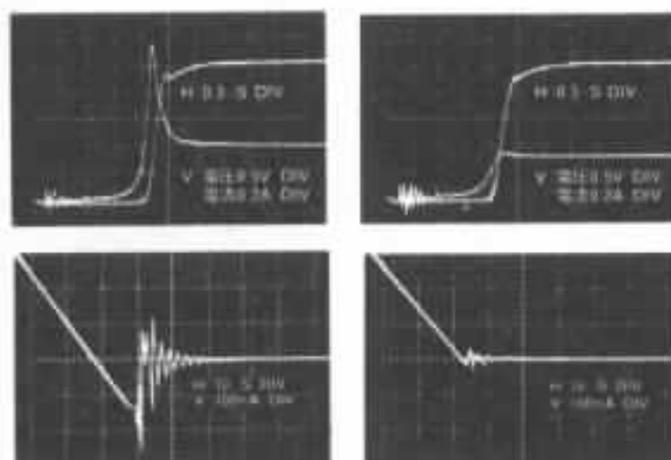
Depuis l'apparition du tube, on connaît le défaut apporté par le « clic » de redressement des diodes au silicium, malgré l'avantage d'une résistance série plus basse qu'un redresseur à vide. Ce clic, inévitable, peut

plus ou moins bien être atténué à l'aide de condensateurs placés en parallèle sur les diodes, ou encore par des moyens plus compliqués tels qu'un circuit de régulation série ou un filtrage en multiples « pi ».

Ce n'est qu'après l'apparition de diodes « ultra rapides », dites « Fast Recovery Diodes », et de diodes « Audio Super Low Noise », que l'on s'est aperçu que, même avec des circuits de régulation parfois très sophistiqués, on ressentait malgré tout à l'écoute une différence très nette lorsque les diodes au silicium



Diodes « audio » « Audio Super Low Noise » commercialisée au Japon par la firme I.R.



diode courante

diode « Audio »

conventionnelles étaient remplacées par de telles diodes « audio ». Les divers brevets d'invention, de protection, de fabrication, les modèles déposés limitent la fabrication de ce type de diode à quelques constructeurs. La firme International Rectifier Inc. a lancé trois modèles de diodes dites « audio super low noise » dont les performances et les résultats subjectifs sont en effet remarquables. En réalité, dans de nombreux préamplificateurs et amplificateurs, un son parfois dur, un extrême aigu manquant de propreté, étaient jusqu'ici des défauts qui pouvaient être attribués à la conception du circuit même ou à d'autres causes (composants, transistors, etc.), alors qu'un remplacement des diodes ou du pont de diodes par une série « audio » pouvait faire totalement disparaître ce défaut subjectif. Là aussi, l'avenir de diodes « audio » n'émettant pratiquement plus de bruit parasite, de « pics » très gênants, est certain. Curieusement, l'amélioration constatée concerne aussi le grave (plus de transparence et de stabilité de l'image) et la dynamique, alors que la suppression des pics ne devrait concerner que le secteur aigu/extrême-aigu.

Ces diodes de marque IR sont disponibles au Japon sous les références 30DF 2 (3A 200V), PB 102F (8A 200V) et PB 152F (13A 200V) et couvrent ainsi les applications générales du domaine audio.

Les câbles spéciaux

Nous n'aborderons pas en détail le cas des câbles, étant donné qu'ils sont très nombreux sur le marché. Ces câbles « audio », malgré leur multiplicité, ne sont malheureusement

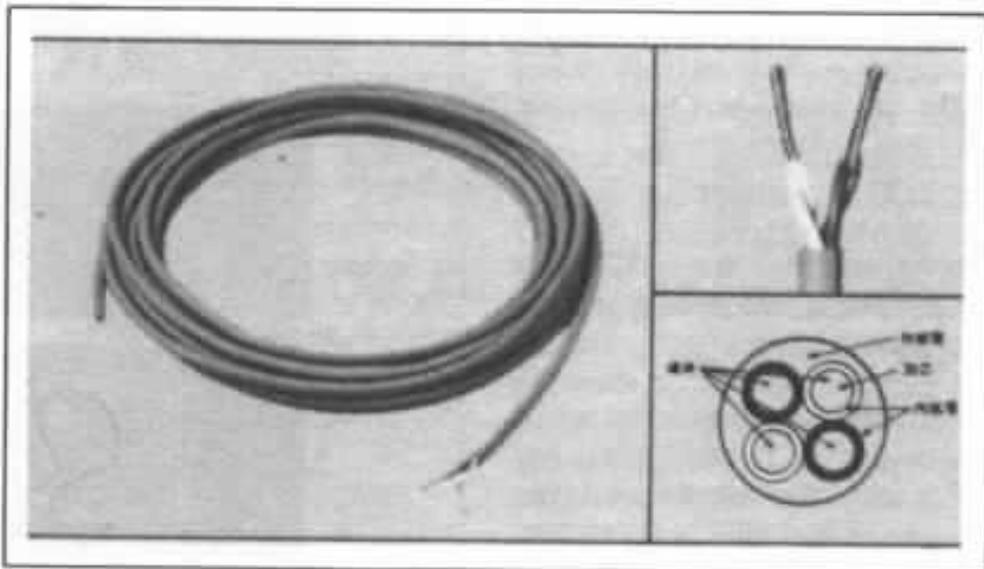
pas toujours excellents et certains sont même de qualité subjective égale ou inférieure à un câble courant. Au Japon, la mode est celle des câbles « tout argent » ou encore en cuivre dit « non oxygéné » présentant, lors d'un examen au microscope électronique, des cristaux de grandes dimensions et de forme très homogène alors que le cuivre normal donne des cristaux de petite taille. Le cuivre pur (de première fusion si possible) semble être celui qui donne les meilleurs résultats bien que la technique de fabrication semble jouer aussi énormément. Dans la plupart des cas, le câble argenté ou en argent pur, bien que donnant la plus faible résistance série, possède le curieux défaut de relever subjectivement l'aigu ou l'extrême aigu pour en faire une zone particulièrement « brillante ». Mais, expliquer le pourquoi de ce défaut constaté est un autre problème.

Les câbles tressés, ou de type « Star Quad » (quatre fils reliés deux par deux) destinés à annuler l'inductance série, sont de moins en moins utilisés. En effet, ceux-ci, bien que capables de donner de très bons résultats

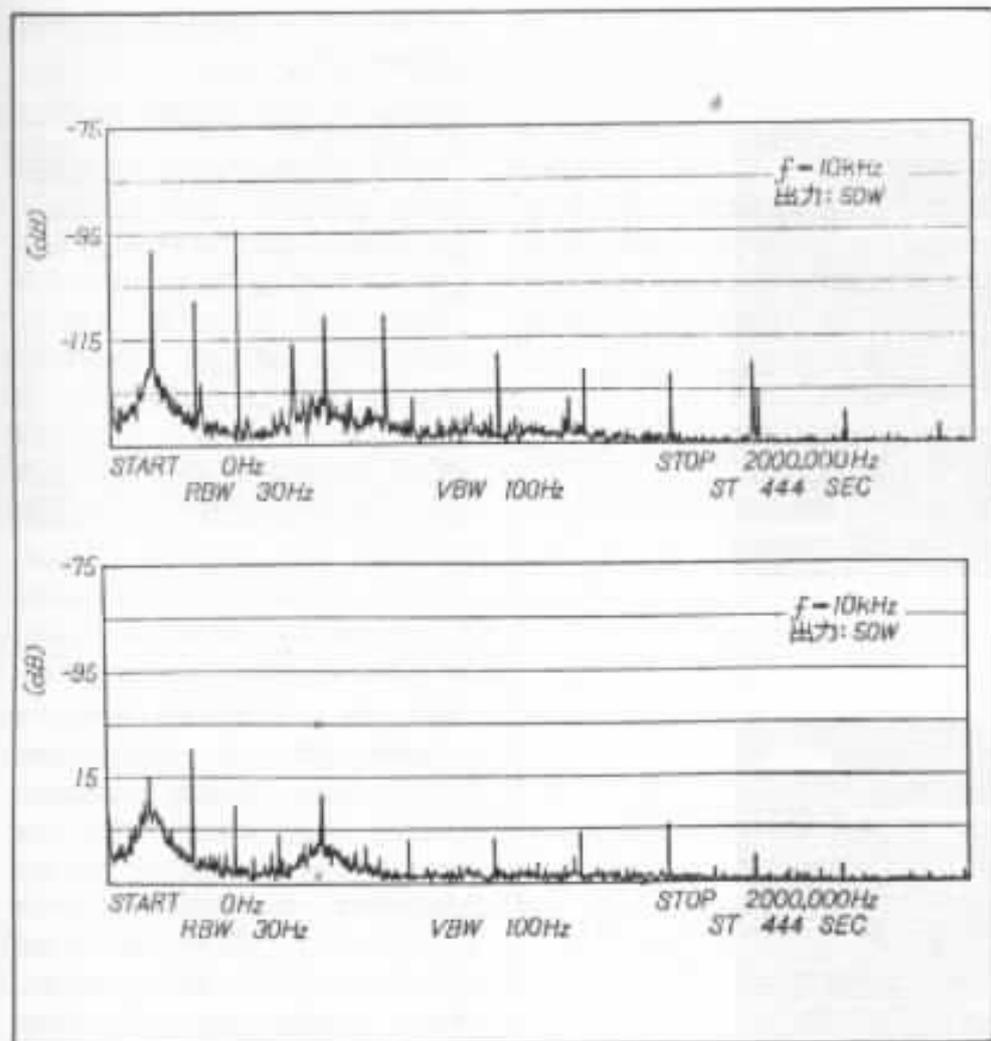
dans certains cas, ont le défaut majeur, à cause de leur capacité importante (de 200 à 800 pF/m), de provoquer lors de certaines combinaisons amplificateur/haut-parleurs, une oscillation parasite de l'amplificateur pouvant provoquer jusqu'à la destruction des transistors de sortie, ceci malgré les protections électroniques. Il est bien évident que dans ces cas, le constructeur ne pourra pas garantir l'appareil, de même que la maison vendant le câble dira que la conception de l'amplificateur était mauvaise. C'est peut-être la répétition d'une telle situation qui a fait baisser sérieusement la « cote » des câbles de haut-parleurs tressés ou de type « Star Quad ».

Châssis

Les lecteurs connaissent certainement les travaux de certaines firmes comme Kenwood dont les résultats ont abouti à la réalisation d'amplificateurs, préamplificateurs, dont la plus grande majorité des pièces étaient réalisées en matériaux amagnétiques et pour lesquels les mêmes circuits et les mêmes tran-



Le câble pionnier Star Quad : il n'est pas sans évoquer d'autres câbles...



Comparaison de la distorsion par effet magnétique produit par un appareil utilisant un châssis ferreux courant (en haut) et un châssis entièrement aimantique. Sur certaines fréquences la baisse de distorsion peut atteindre 15 dB.

(document Kenwood, amplificateur L-01)

sistors montés dans des châssis en fer par exemple, donnent des différences de distorsion très nettes lors d'un examen sur analyseur de spectre par exemple. Ceci avait été remarqué par quelques amateurs et quelques firmes fabriquant en petite série des amplificateurs de qualité comme Kondo, Ortho-Spectrum ou Shibasaki.

D'après de nombreux essais et comparaisons de résultats obtenus par diverses personnes, on peut tirer une conclusion, peut-être encore provisoire bien que vérifiée, qui se résumerait ainsi : le châssis en aluminium semble être un très bon compromis.

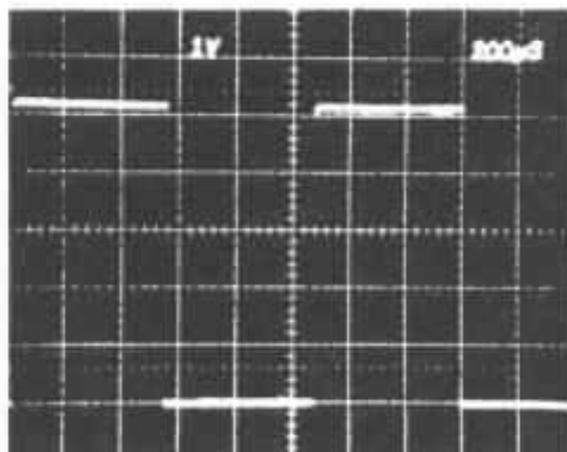
Circuit imprimé

Le circuit imprimé « Hi-Fi » existe aussi et sa principale différence par rapport à un circuit imprimé courant est une piste plus épaisse, réalisée en cuivre de haute qualité, soit près de 100 à 120 microns au lieu des 30 à 35 microns conventionnels. Mais ceci n'est pas tout. W. Ring, William Mark et trois autres ingénieurs de la firme Tektronix, ont découvert, il y a quelques années, qu'un effet curieux d'accrochage, de dépassement sur signaux carrés, jusqu'ici inexpliqué, était provoqué par le circuit imprimé. Cet effet, baptisé effet « Hook », peut facile-

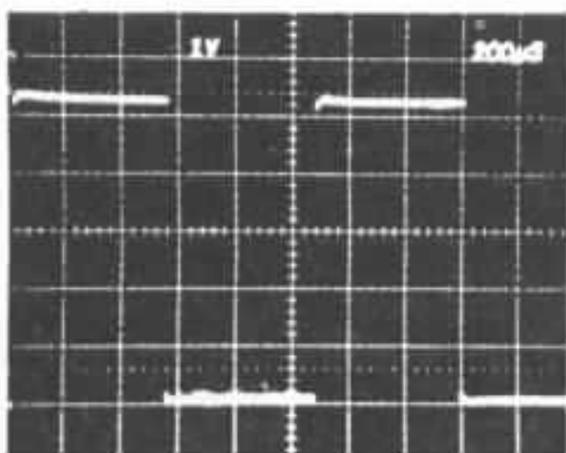
ment être mis en évidence. L'origine de ce défaut viendrait, d'après ces ingénieurs, de la constante diélectrique de l'isolant et aussi par le fait que le taux de résine imprégnée dans le verre (verre epoxy), ayant aussi une influence sur le facteur de dissipation, donnerait un effet Hook variable suivant les fréquences en s'aggravant curieusement plus aux fréquences graves qu'aux fréquences élevées.

Au Japon, où ce phénomène a été également constaté lors de la réalisation pratique d'appareils de mesures, de microprocesseurs très rapides, de nouveaux circuits imprimés ont dû être spécialement conçus pour réduire ce défaut. C'est ainsi qu'aux USA des matières spéciales (FR-4, etc...) réalisées par Meplex, UOP, etc ; et au Japon par Matsushita, Hitachi furent fabriquées. Ces circuits imprimés en verre epoxy spécial donnent aussi de très bons résultats en haute fidélité, en particulier lorsque la piste conductrice est réalisée en épaisseur supérieure à la normale (100 à 120 microns). On peut réduire encore cet effet Hook par le perçage de nombreux trous aux endroits inutilisés, idée qui paraît nouvelle en audio mais qui ne l'est pas puisqu'elle est utilisée depuis au moins 7 à 8 ans.

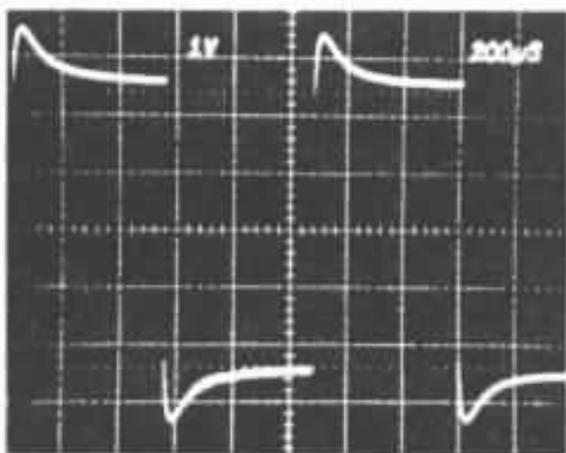
D'après les mesures effectuées par les laboratoires Hitachi, par exemple, on s'est aperçu que 90 % des circuits imprimés utilisés en hi-fi étaient sujets à ce défaut (effet constaté sur une moyenne de 46 circuits d'origine différente) et que cet effet Hook était toujours prononcé vers 1 kHz. Ce dernier pouvait même atteindre 30 % sur de mauvais circuits, pourtant de belle présentation, ce qui veut dire que



Circuit imprimé « FR 4 » à faible effet Hook



Circuit en verre epoxy de très haute qualité



Circuit imprimé présentant un effet Hook prononcé 18 %

Mise en évidence sur signaux carrés de l'effet Hook provoqué par la présence du support mécanique qu'est le circuit imprimé (document Tektronix) La fréquence est de 1 kHz.

l'apparence ne signifie rien dans certains cas.

Autres composants

On a pu démontrer également que la soudure « avait un son », ce qui peut paraître stupide mais qui a été récemment prouvé en public aux cours d'essais en aveugle, en présence d'une vingtaine de visiteurs. A cet effet, de « longues soudures », d'environ 40 cm de long, avaient été réalisées afin d'amplifier les défauts produits par celles-ci, c'est-à-dire les variations de résistances à l'endroit du contact électrique, les effets électro-chimiques éventuels, etc... Certaines soudures utilisées pour les installations téléphoniques étaient particulièrement intéressantes, telles que les soudures anglaises de marque Multicore, de référence Savbit (contenant 1,5 % de cuivre) qui ont donné de très bons résultats. Aussi étrange que cela puisse paraître aux yeux de certains, de telles comparaisons en aveugle sont de bons moyens d'investigation et de comparaison, vu que dans le domaine subjectif, il est facile de trouver des opinions très diversifiées alors qu'en fait toutes les oreilles écoutent bien la même chose.

Conclusion

Ceci ne représente qu'un bref aspect de nouveaux composants utilisés et conçus pour la reproduction de haute fidélité. A ceux-ci risquent malheureusement de se mélanger, dans le futur, des nouveautés dites « audio », alors qu'elles ne méritent peut-être pas cette qualification. D'autre part, de nouvelles résistances, de nouveaux transistors, un nouveau châssis, de nouvelles diodes créés pour usage audio ne forment pas l'essentiel. L'exploitation totale

des possibilités de ces nouveaux produits est aussi un art. Mal exploités, ils deviendraient des gadgets au succès éphémère, ce qui serait très regrettable. Et ceci montre combien un maillon de haut de gamme demande de temps, non pas pour être parfait, puisque ceci est impossible, mais pour être parfaitement « compris ». Or, ce n'est qu'au terme de multiples expériences et comparaisons que l'on peut prouver

l'origine d'un défaut ou d'une qualité subjectivement ressentie.

Il faut aussi ajouter que pour percevoir lors de comparaisons ces différences, il est indispensable d'utiliser un système de haute qualité et de haute définition, ce qui est loin d'être toujours le cas.

Il est en effet très facile, inversement, au cours d'essais, de trouver une combinaison de maillons qui fera « sonner » d'une façon

absolument identique 15 préamplificateurs ou 12 phonolecteurs, mais ce n'est pas ce qui nous intéresse. Les sujets dont il a été question ici, concernent le haut de gamme en haute fidélité, expression dans laquelle le terme « fidélité » est souvent entendu en tant que « performances techniques », plutôt que comme un ensemble où le résultat d'écoute est aussi important que les performances mesurées.

**Page non
disponible**

Acoustique et conditionnement de la salle d'écoute

Matériaux absorbants

Gustavo Altieri

Le travail de modification des caractéristiques acoustiques d'une salle exige la connaissance des propriétés physiques de la pièce et du comportement des éléments utilisés pour matérialiser les conditions souhaitées. Les possibilités de l'acousticien se résument dans l'absorption plus ou moins relative de l'énergie sonore, pour obtenir une bonne distribution de la même énergie, dans le temps et dans l'espace.

Nous n'avons pas l'intention de faire un long exposé sur les conditions acoustiques optimales, ni sur les critères de mesure des paramètres physiques, mais il est utile de souligner quelques idées de base sur lesquelles s'appuient les principes du conditionnement acoustique.

—Le temps de réverbération se définit comme étant le temps pris par un son de niveau donné pour diminuer de 60 dB, à partir du

moment où la source sonore est arrêtée. C'est sans doute l'élément le plus important dans le caractère acoustique d'une salle.

Au sujet du temps de réverbération, nous devons rappeler un concept élémentaire, mais souvent ignoré : cette valeur est fonction de la fréquence, et il est aussi possible de trouver dans une même salle des valeurs sensiblement différentes pour le temps de réverbération, dans des points précis du spectre sonore.

—Le temps de réverbération d'une salle peut être mesuré à l'aide d'une expression mathématique trouvée par Sabine :

$$T = 0,16 \frac{V}{\alpha S}$$

où T = temps de réverbération
V = volume de la salle
S = surface intérieure
 α = coefficient d'absorption des parois.

Cette formule n'est pas valable dans tous les cas, et de plus,

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz
exemple de panneaux acoustiques	0,15	0,3	0,75	0,85	0,75	0,4
exemple de plancher en béton	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05
exemple de plancher en bois	0,15	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
exemple de plancher avec moquette	0,1	0,15	0,25	0,3	0,3	0,3
exemple de personne assise	0,18	0,4	0,46	0,46	0,51	0,46

Coefficient d'absorption en fonction de la fréquence.

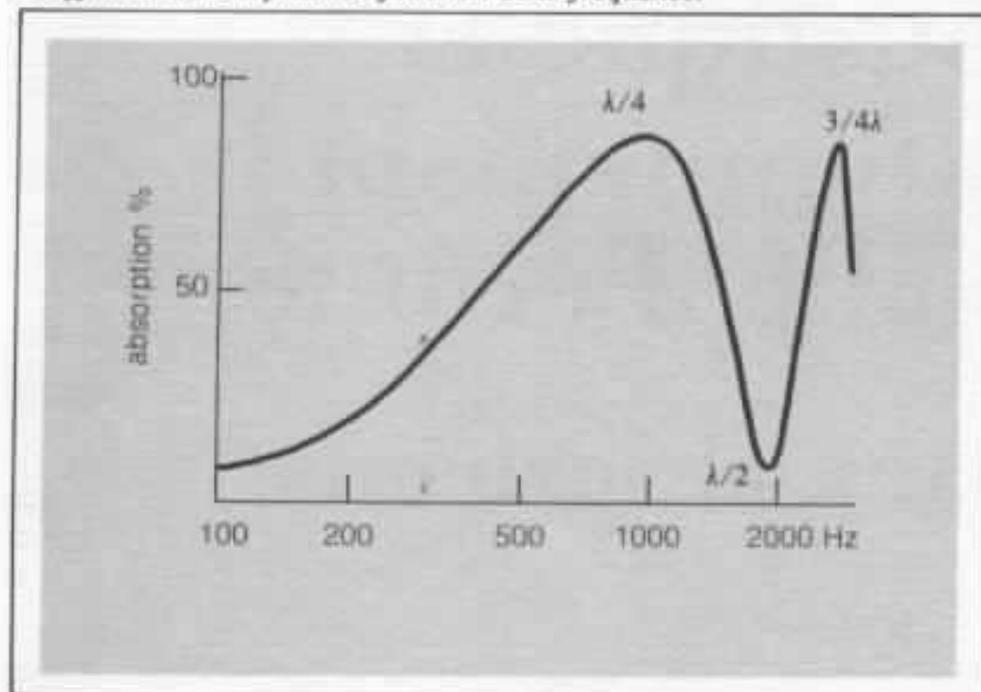


Fig. 1 : Capacité d'absorption d'un matériau monté à 9 cm de distance d'une surface rigide. (doc. B.K.)

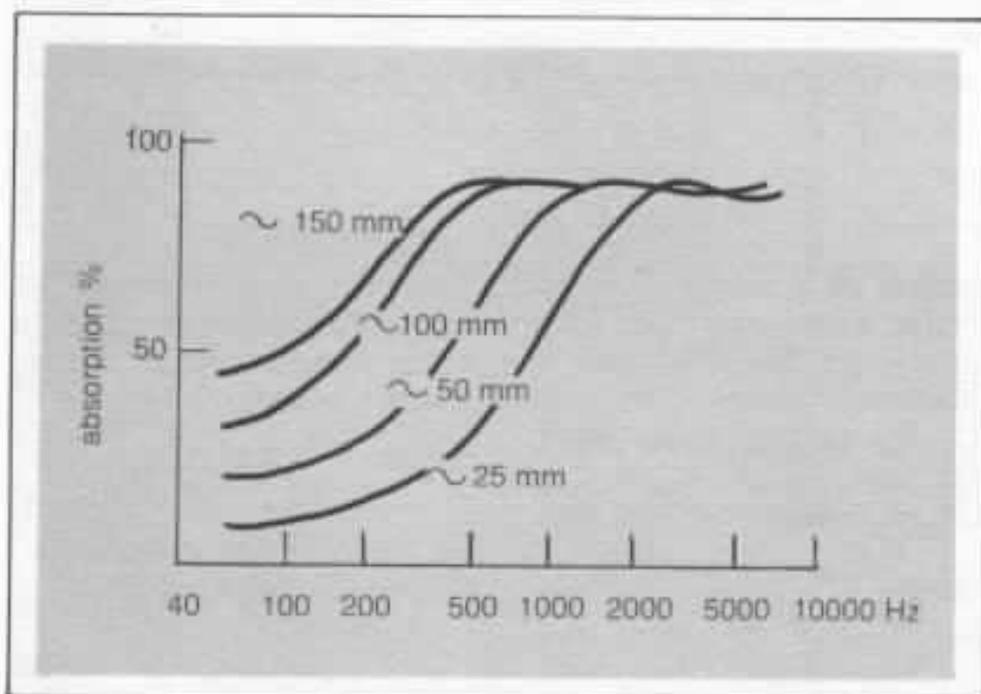


Fig. 2 : absorption d'un même matériau poreux en fonction des différentes épaisseurs.

ne tient pas compte de la distribution des matériaux. C'est ainsi que deux salles peuvent avoir une même valeur de T , et en même temps des qualités acoustiques très différentes.

—L'absorption peut être obtenue à l'aide d'une couche poreuse, ou par des résonateurs. Le tableau montre la dépendance du coefficient d'absorption (correspondant à une surface de 1 m^2) avec des fréquences arbitraires.

—Le coefficient d'absorption exprime le rapport entre l'énergie sonore absorbée par le matériau et celle correspondant à une surface identique d'un élément parfaitement absorbant (par exemple une fenêtre ouverte).

Système d'absorption sonore

Un matériau absorbant poreux travaille selon un principe de transformation de l'énergie acoustique en énergie calorifique. Dès l'arrivée de l'onde, l'amplitude des vibrations est progressivement amortie au sein de l'élément poreux, à cause de la friction sur les surfaces internes. Dans un absorbant de ce type, le maximum d'efficacité est obtenu lorsque la vitesse des particules est maximale. D'autre part, nous savons que pour une onde sonore incidente sur une surface rigide, la vitesse maximale est atteinte à une distance de $1/4 \lambda$. Par conséquent, pour

absorber des longueurs d'ondes importantes (basses), il est nécessaire d'utiliser de grandes épaisseurs de matériaux absorbants ou de monter l'élément à une certaine distance de la paroi rigide. Dans la figure 1, la courbe d'absorption montre deux maxima qui correspondent aux distances $1/4 \lambda$ et $3/4 \lambda$ entre le mur et le matériau en question. La figure 2 montre la dépendance entre la capacité d'absorption et l'épaisseur d'un élément poreux.

Résonateurs

Le système est tout simplement composé d'une cavité connectée à l'ambiance extérieure à travers une ouverture étroite.

Lorsqu'une onde sonore arrive au niveau de l'ouverture, l'air contenu dans la cavité est soumis successivement à un phénomène de compression, puis de raréfaction. Le comportement de l'air enfermé est ainsi comparable à celui d'un ressort couplé à la paroi postérieure et à la masse d'air comprise dans l'ouverture du résonateur.

La fréquence de résonance d'un résonateur non amorti est exprimée par :

$$f_0 = \frac{C \sqrt{S}}{2\pi \sqrt{IV}}$$

où :

C = vitesse du son (m/s)

S = section de l'ouverture (m²)

l = longueur de l'ouverture (m)

V = volume de la cavité (m³)

(voir fig. 3A).

Il est possible de transformer un résonateur simple en un résonateur amorti par remplissage de la cavité avec un matériau poreux. Dans ces conditions, l'absorption est effectuée dans une bande de fréquences plus

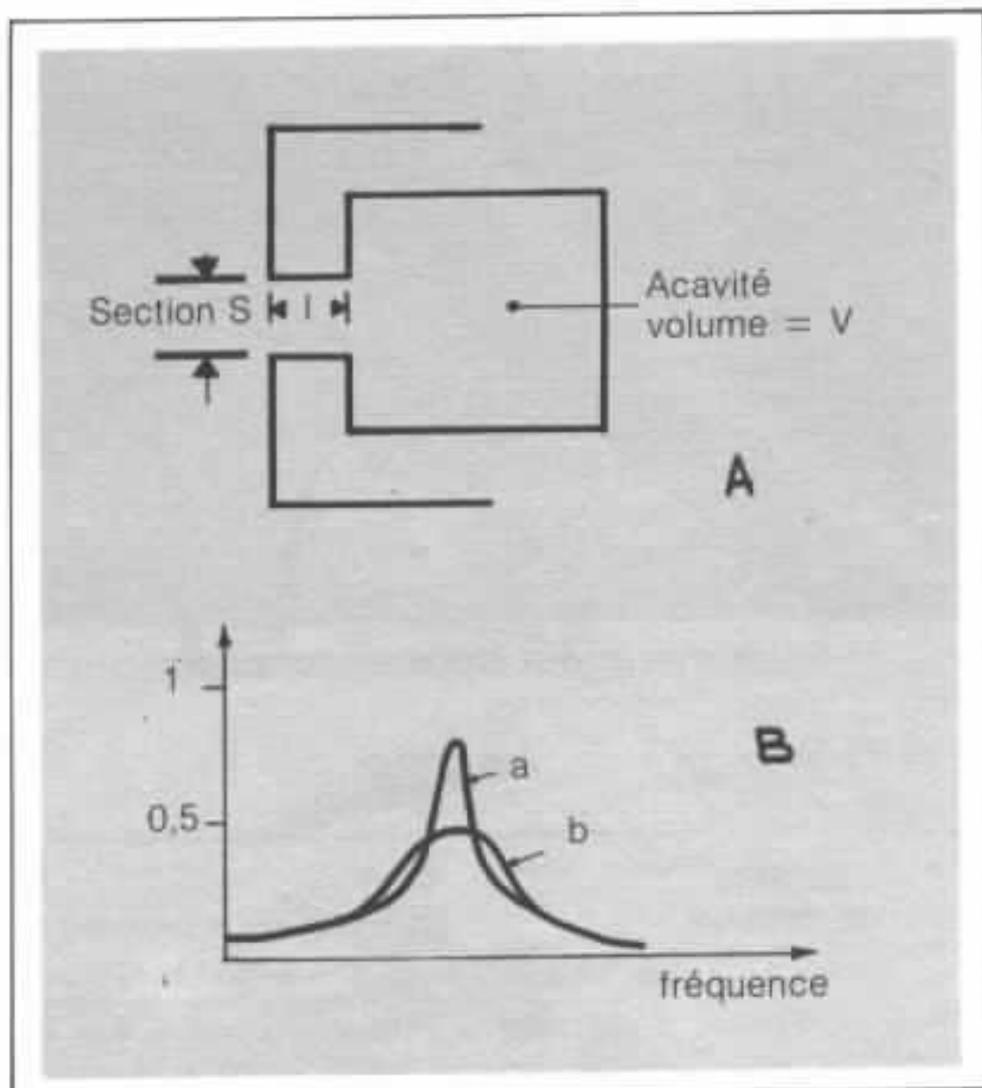
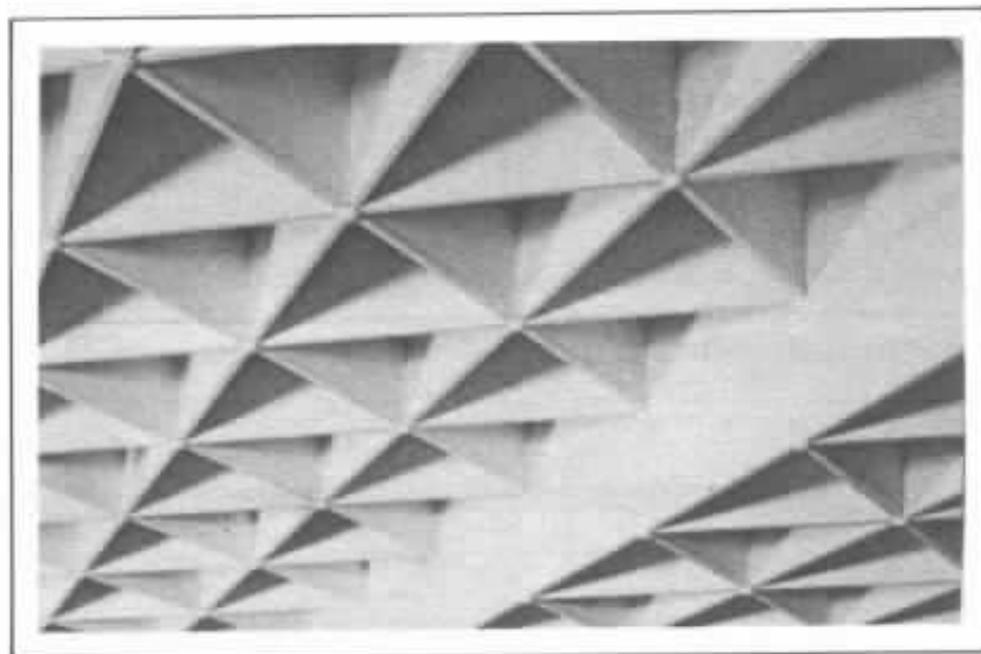
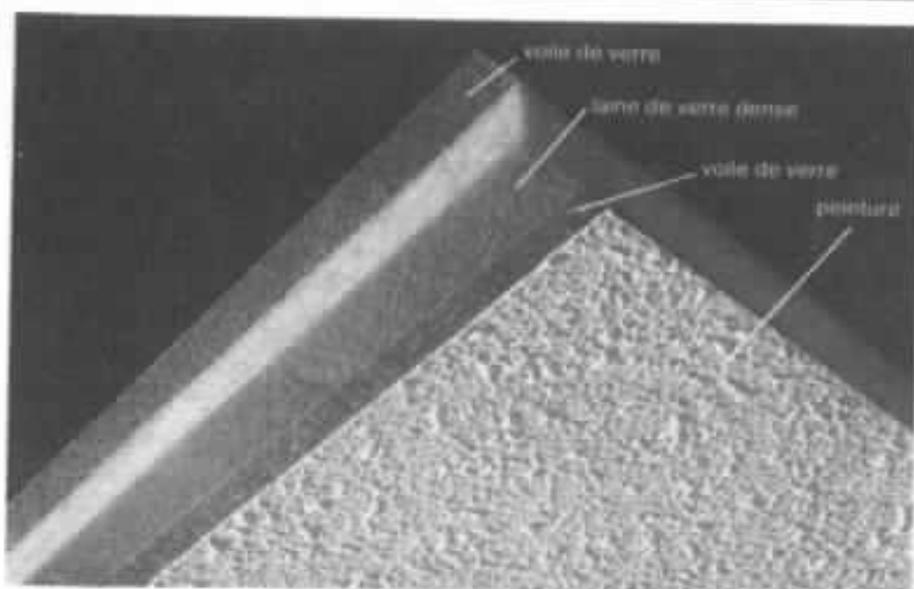


Fig. 3 : Schéma d'un résonateur de Helmholtz et comportement du système non amorti (a) et amorti (b).

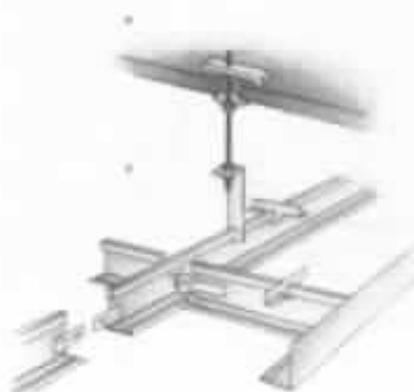


Exemple de panneaux de disposition alvéolaire. La multiplication de surfaces renforce la capacité d'absorption propre du matériau.



Coupe d'un produit absorbant composite.

Schéma de montage



Ces panneaux de laine de verre en sandwich entre deux voiles de verre polymérisés à chaud présentant les caractéristiques acoustiques suivantes :

Hz	α Sabine
250	0,84
500	0,84
1 000	0,88
2 000	0,89
2 500	0,92

large, mais le résultat est inférieur à celui obtenu avec un résonateur simple autour de la fréquence de résonance (figure 3B).

Les résonateurs trouvent leur application la plus répandue dans les panneaux perforés. Ils se présentent sous deux formes fondamentales : des cavités indépendantes associées dans une même structure, ou des perforations qui donnent sur une même cavité générale. Un matériau poreux est souvent associé à un système de ce dernier type.

La fréquence correspondant aux deux formes de panneaux absorbants perforés se calcule avec les expressions suivantes :

Système cloisonné :

$$2 \pi f_n = C \sqrt{\frac{\sigma}{a l}}$$

Système continu :

$$2 \pi f_o = C \sqrt{\frac{\sigma}{\beta a l}}$$

où σ = taux de perforation, c'est-à-dire rapport de la somme des surfaces des trous à la surface totale de la paroi.

a = épaisseur de vide entre les parois

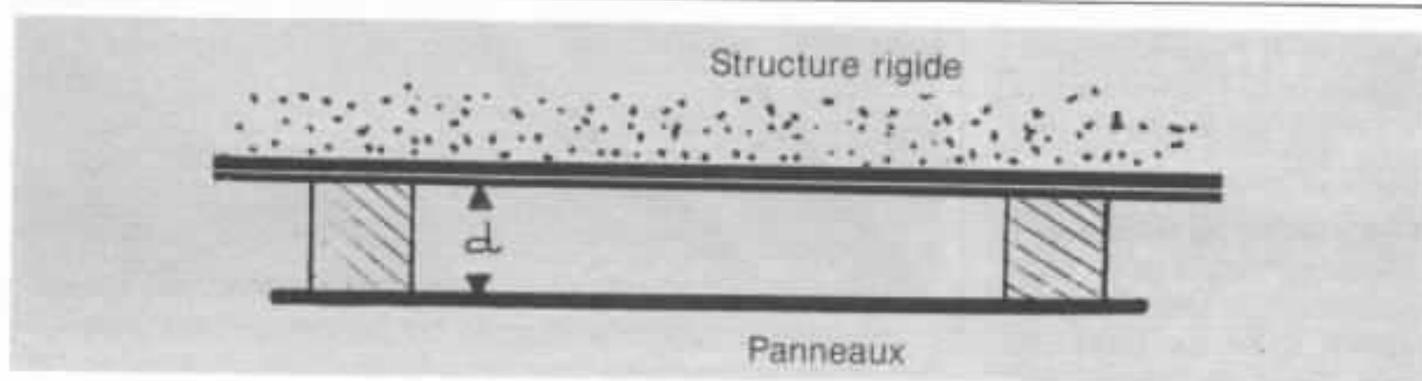
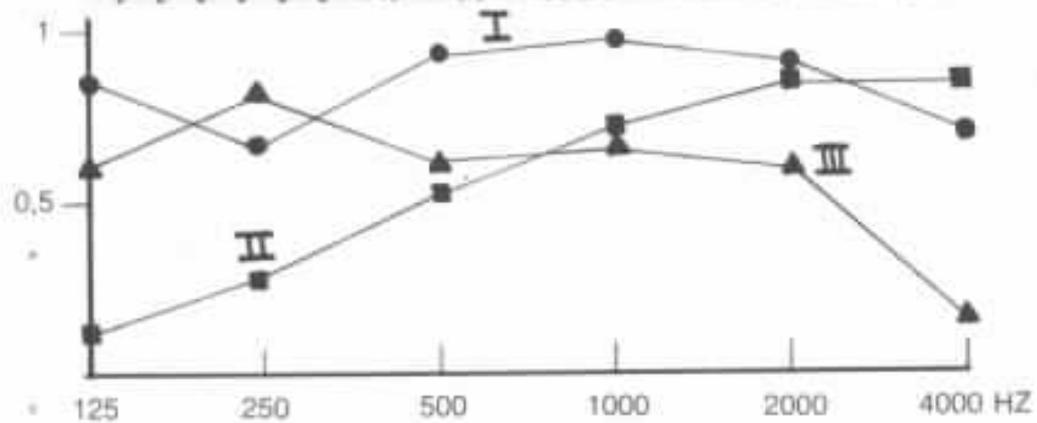
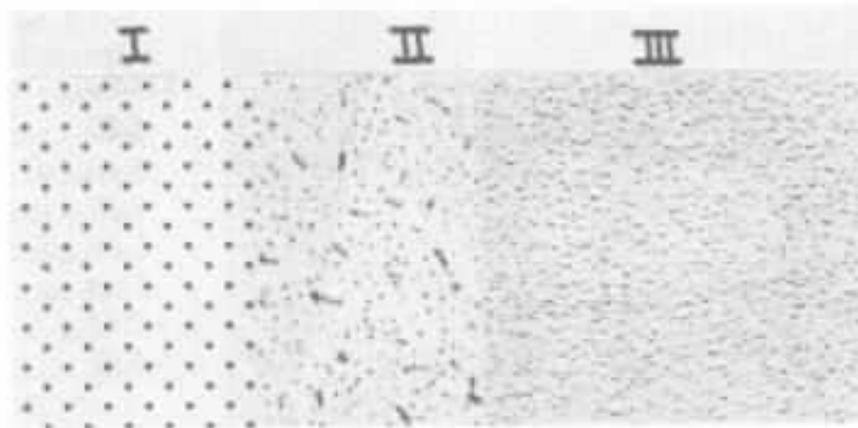


Fig. 4 : Système d'absorption par panneau élastique.



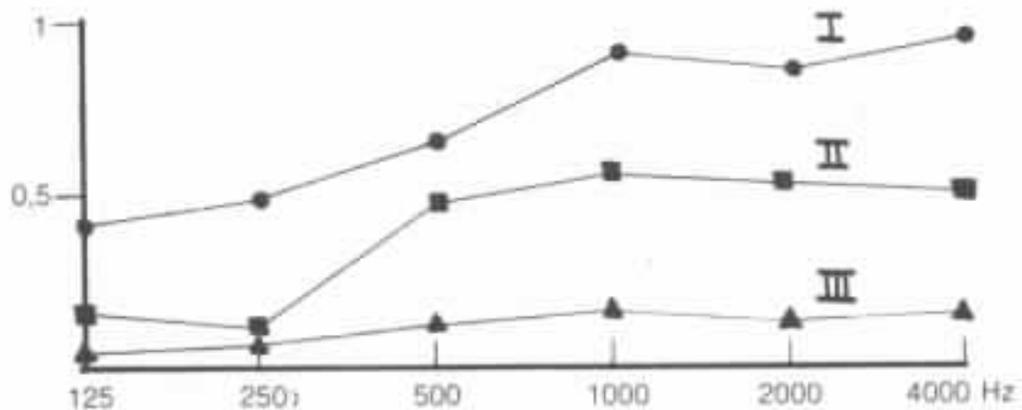
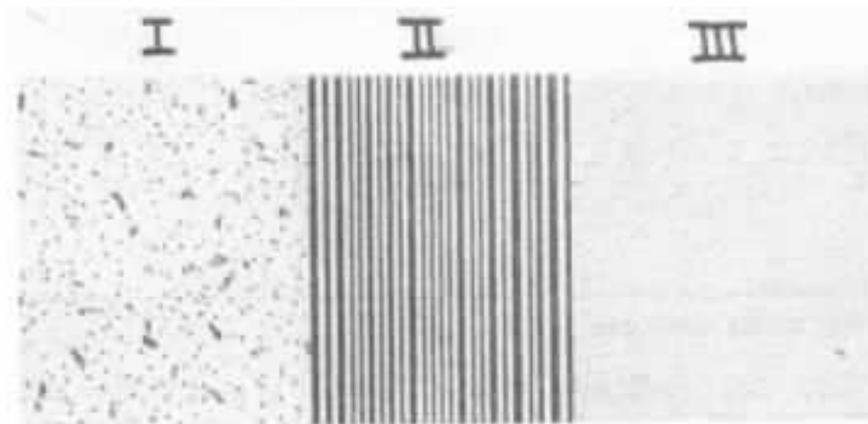
Performances de trois types de panneaux

I - tôle d'acier traitée et perforée associée à un matelas absorbant

II - panneaux en fibre de roche, épaisseur 16 mm

III - panneaux en fibre de verre, épaisseur 25 mm

Les trois types exigent un système de fixation métallique spéciale.



Différence des performances des panneaux absorbants de la même nature mais ayant des présentations différentes.

	Grave	Médium	Aigu
Béton coulé peint	0,01	0,01	0,02
Brique pleine, brute	0,02	0,03	0,04
Carrelage, grès, faïence	0,01	0,01	0,01
Marbre	0,01	0,01	0,01
Crépi sur mur	0,02	0,04	0,08
Plâtre sur mur Staff	0,02	0,03	0,04
Verre, vitre	0,03	0,03	0,02
Bois verni	0,04	0,03	0,03
Parquet bois	0,04	0,08	0,12
Panneaux contre-plaqués à 2 cm du mur	0,10	0,30	0,08
à 5 cm du mur	0,40	0,30	0,08
Crin de jute	0,06	0,50	0,60
Moquette sur béton	0,10	0,20	0,30
Moquette sur thibaude	0,15	0,40	0,35
Laine de lin	0,10	0,60	0,45
Draperie coton sur mur	0,04	0,15	0,30
Draperie coton plis serrés	0,20	0,50	0,70
Velours à moitié plissé	0,20	0,55	0,60
Tôle perforée sur laine minérale 15 mm	0,30	0,65	0,60
Métal déplissé sur laine minérale 30 mm	0,60	0,70	0,70
Laine minérale 40 mm	0,50	0,85	0,65
Polyvinyl perforé sur 5 cm laine de verre	0,20	0,80	0,75

Coefficient de Sabine α pour divers matériaux.

$1-\beta$ = rapport de l'aire des parois transversales à la surface totale.

Panneaux élastiques

Un troisième type de dispositif absorbant est représenté par un panneau monté devant une paroi rigide selon le schéma de la figure 4. L'air renfermé entre le panneau et la surface rigide travaille comme un ressort couplé à une masse mobile, le panneau. L'inertie et les efforts d'amortissement au niveau de la surface

vibrante sont à l'origine d'une transformation de l'énergie sonore incidente en mouvement mécanique et dégagement thermique. Le transfert énergétique optimum est obtenu lors de la coïncidence de la fréquence de l'onde sonore avec la fréquence de résonance du système. Celle-ci est donnée par la formule :

$$f_0 = \frac{6\ 000}{\sqrt{md}}$$

où :

m = masse du panneau (kg/m^2)

d = distance entre le panneau et la surface rigide (m).

Le système fonctionne dans une plage de fréquences plus étendue en associant un matériau amortisseur aux structures en jeu.

Il faut tenir compte du fait que le panneau transformé en membrane vibrante se transforme, ainsi, en source sonore secondaire.

La pratique

Avec des matériaux « cou-

rants », on peut déjà réussir un bon traitement acoustique. Pour cela, il faut connaître leurs performances dans les diverses parties du spectre sonore. En sachant que la plupart des lecteurs ne sont pas équipés pour faire des mesures précises, le tableau exprime le comportement des matériaux par rapport à trois « régions » fondamentales : le « grave », le « médium » et l'« aigu » (doc. Alphacoustic).

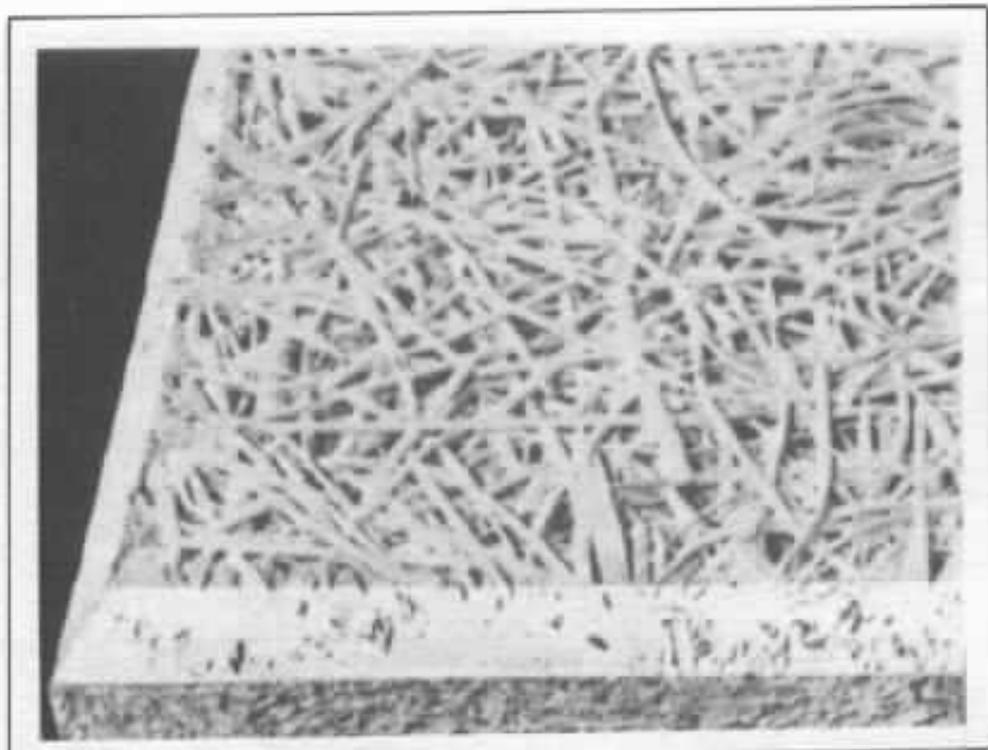
Les matériaux indiqués dans le tableau concernent surtout les éléments de mobilier ou de décoration. Des traitements spécifiques existent, tels que ceux que nous avons choisis dans les diverses figures. Ne pas oublier que pour des traitements ponctuels, il est possible d'avoir recours aux fameuses « planches à œufs » dont l'efficacité est remarquable.

Notes :

La formule de Sabine :

$$T = 0.16 \frac{V}{\bar{\alpha}S}$$

C'est une expression simplifiée



Panneaux absorbants constitués de laine de bois imprégnée de magnésie caustique.

de la formule dite de Eyring :

$$T = 0.16 \frac{V}{S |\log_e (1 - \bar{\alpha})|}$$

La simplification est obtenue en prenant le premier terme du développement :

$$\log_e (1 - \bar{\alpha}) = -\bar{\alpha} + \frac{\bar{\alpha}^2}{2} + \dots$$

$$\dots + \frac{\bar{\alpha}^n}{n} = \bar{\alpha}_s \text{ (Sabine)}$$

$$\text{donc : } \bar{\alpha}_s > \bar{\alpha}$$

Il est possible ainsi de trouver des coefficients d'absorption de Sabine supérieurs à l'unité, ce qui peut troubler le lecteur non averti.

**Page non
disponible**

Le placebo acoustique, existe-t-il ?

Gustavo Altieri

Les nombreuses expériences que nous avons réalisées dans l'étude des performances de l'audition chez l'homme et lors des tests de perception subjective des modifications techniques apportées sur des systèmes de haute-fidélité, nous ont montré l'existence de certains phénomènes que nous pourrions appeler : le « placebo acoustique ».

Quelques exemples

Dans un ancien numéro de l'Audiophile, nous avons décrit une expérience troublante : lors d'une écoute collective, le système testé manifesta des faiblesses importantes. Dans ces conditions et après vérification de tous les maillons électroacoustiques qui constituent l'ensemble, une partie des auditeurs (tous expérimentés) fixèrent leur attention sur la platine tourne-disque utilisée. Le verdict a été clair : la platine n'était pas à la hauteur de la chaîne et toute la responsabilité d'une écoute décevante et embarrassante lui incombait. Tous les participants cherchaient à « faire fonctionner » un système très réputé qui

« devait fonctionner ». Aussi, la platine accusée a-t-elle été remplacée par une deuxième, célèbre et considérée comme étant une réalisation hautement réussie. Le moment de brancher la nouvelle platine est arrivé, et tout en faisant les gestes correspondant à cette opération, nous avons maintenu la première platine. La deuxième partie de l'écoute s'est donc déroulée rigoureusement dans les mêmes conditions que la première. Cependant, tous les participants ont trouvé des différences profondes, exprimées sous forme d'adjectifs qui faisaient référence à la profondeur, la fermeté dans les basses, la dynamique, etc.... Ainsi, dans la deuxième écoute, et malgré

l'identité physique des systèmes, les auditeurs ont trouvé ce qu'ils cherchaient.

Dans d'autres circonstances, un groupe de personnes était habitué à écouter et tester des hauts-parleurs à l'aide d'un amplificateur de facture spéciale et présentant l'image classique d'un appareil de laboratoire de « fabrication maison ». A la suite d'une discussion sur « l'importance acoustique » de certains éléments accessoires, nous avons « habillé » le vieil amplificateur et nous l'avons présenté comme une nouvelle réalisation capable d'améliorer sensiblement les performances audibles (très critiquables) de l'ancien appareil. Nous avons

décrit « les modifications » qui étaient responsables de « changements acoustiques importants ». Après les premières écoutes et en accord avec nos précisions, l'hypothétique amélioration a été ressentie. C'est seulement après plusieurs essais que « nos cobayes » ont commencé à montrer timidement les premiers signes de confusion.

Notons que ces deux exemples concernent des groupes d'auditeurs expérimentés, connaissant la technique et étant, ainsi, moins perméables que l'amateur moyen aux pièges trop évidents. Ces deux cas illustrent les effets d'un renforcement psychologique des véritables performances acoustiques. Renforcement qui peut être confondu avec d'autres phénomènes qui présentent des conséquences comparables, mais selon des mécanismes différents.

Prenons un troisième exemple. Nos propres expériences nous ont amenés à peindre les boomers d'un groupe d'enceintes identiques. Pendant les essais, effectués avec un groupe de personnes non concernées par la technique, les enceintes équipées d'un boomer peint en bleu, qui les rendait ainsi très visibles, « avaient plus de basses » que ses sœurs moins voyantes. Ici, une composante visuelle provoque une certaine sensation acoustique. Dans les premiers cas, seul un élément intellectuel intervenait dans l'élaboration d'une image sonore particulière.

Cette considération éloigne aussi le problème des illusions acoustiques, où la réception de certains stimuli sonores, dans un ordre précis et dans des circonstances données, peut être à l'origine d'aberrations perceptives très spectaculaires*. Les illusions acoustiques se développent indépendamment du conditionnement intellectuel et elles obéissent à un jeu de stimuli adéquats.

Notre problème n'est donc pas en rapport avec les illusions

acoustiques, ni avec un renforcement sensoriel. Seul l'aspect mental joue un rôle complémentaire de l'audition.

Concurrence de phénomènes biologiques ?

Le stimulus sonore déclenche chez l'auditeur humain une série de processus complexes où se réunissent d'une manière harmonieuse les domaines de la physique et de la chimie, sous le contrôle de l'activité nerveuse centrale et périphérique. Lorsque le stimulus change de nature, s'il devient chimique, par exemple, les conséquences au niveau organique présentent certains parallélismes avec la première situation.

Notre raisonnement nous amène à comparer certaines réactions de l'organisme face à un type très spécial de stimulus externe fortement lié à un conditionnement psychologique bien orienté.

Le placebo pharmaceutique

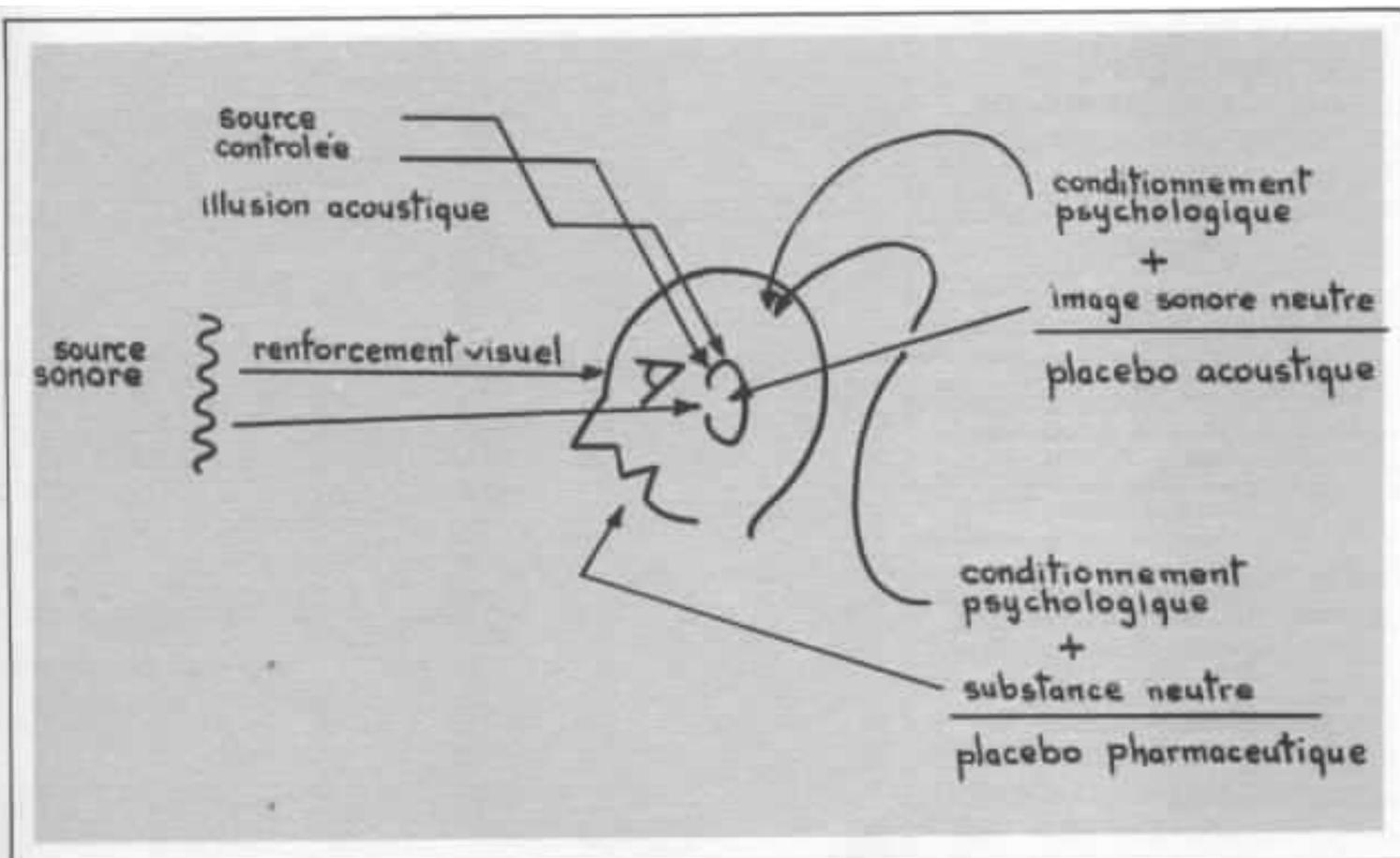
C'est une préparation qui ne contient pas de substance chimiquement active. Le placebo est couramment utilisé pour son effet psychologique qui peut, dans certains cas, produire des améliorations sensibles chez le malade réceptif. Naturellement, l'efficacité d'un placebo est fonction de l'intervention de plusieurs conditions psychophysologiques ;

- le sujet doit croire à l'efficacité du médicament. Cette condition fondamentale est obtenue grâce à une préparation préalable qui doit être adaptée au sujet et aux circonstances ;

- les explications doivent être exposées par un individu de grande autorité morale et ayant une capacité de persuasion importante, dérivée de ses connaissances supposées, de son rang ou de ses titres ;

* Dans les expériences de D. Deutsch, un ordinateur a été programmé afin de contrôler deux générateurs d'ondes sinusoïdales, qui peuvent donc être réglées convenablement en amplitude, durée et fréquence de stimulation. Au cours des expériences, des personnes ont subi des séquences tonales diffusées au moyen de casques, de manière à ce que chaque oreille reçoive les signaux qui lui sont destinés. Le sujet entend tout d'abord alternativement une séquence de ton haut et une autre de ton plus bas. L'analyse des résultats démontre qu'un seul individu parmi les cent présents a été capable de faire une description correcte du phénomène. La plupart des auditeurs ont entendu un seul son en train de sauter d'une oreille à l'autre en changeant simultanément de hauteur, c'est-à-dire que le sujet typique a entendu alternativement le son de fréquence plus élevée dans une oreille et le bas dans l'autre. A la suite des résultats obtenus, l'idée d'intervertir le casque s'est imposée.

Cependant, les auditeurs ont expérimenté exactement le même effet. L'oreille qui, au préalable, avait entendu le ton haut, confirme sa perception, celle qui avait entendu le ton bas maintient également sa perception antérieure. Une expérience encore plus élaborée a consisté à présenter une échelle Do majeur dans les formes ascendantes et descendantes. Une note de l'échelle ascendante est présentée à une oreille pendant qu'une note de l'échelle descendante est simultanément présentée à l'autre oreille. Les notes successives de chaque échelle sont envoyées alternativement aux deux oreilles. Approximativement, la moitié des auditeurs droitiers entend correctement la séquence, mais sous forme de mélodies séparées, l'une étant plus haute que l'autre, et les deux mélodies se déplaçant en direction opposée par rapport à la série tonale. De cette méthode, les chercheurs pensent tirer des renseignements intéressants dans le domaine de l'organisation de la perception.



Interprétation schématique des divers phénomènes analysés dans le texte.

- la substance doit être entourée d'une auréole parfois de faible valeur scientifique, mais d'un important effet psychologique sur le sujet en question : « produit qui vient d'être mis au point en Suède et non commercialisé pour le moment » ;

- la présentation du produit doit répondre à toutes les conditions propres à ses concurrents « moins prestigieux » : emballage, notice explicative, présentation... ;

- le prix est souvent un facteur d'importance : l'élément nouveau, super-efficace et presque mystérieux... coûte cher. Le sujet moyen peut se méfier d'un produit miracle au prix d'une aspirine. (Et pourtant...)

Dans la pratique médicale, le placebo peut prendre la forme d'une piqûre de sérum physiologique ou même d'eau distillée. Tout l'effet est basé sur la mise

en scène. Cependant, on constate des résultats souvent spectaculaires, lesquels doivent, malgré tout, être étudiés en profondeur, la polémique étant toujours présente lors de leur exposé. Les exemples se multiplient, mais leur développement détaillé nous entraînerait dans un terrain strictement biologique éloigné (au moins du point de vue formel) de nos intérêts acoustiques. Nous retiendrons l'un d'entre eux qui touche, sans doute, beaucoup de personnes : un procédé anti-tabac a été employé sur un grand nombre de sujets qui désirent arrêter de fumer. Simultanément, un faux procédé, qui n'avait du premier que les gestes de base du praticien, a été appliqué sur un nombre égal de sujets qui, également, désirent abandonner la cigarette. Le pourcentage de réussite a été identique dans les deux cas !

Aspects moraux du problème

Un certain groupe de praticiens s'oppose à ce genre de traitement. Ils estiment que le patient mérite toujours la vérité, et attaquent le procédé trompeur qui amène à administrer de l'eau distillée sous l'enveloppe d'un produit venu d'Amérique par avion spécial. D'autre part, les partisans de la méthode répliquent que, ce qui compte, ce n'est pas « la morale du médicament », mais guérir le malade.

Toutefois, le placebo est aussi également employé pour tester l'action d'un nouveau médicament : un groupe de malades reçoit le principe actif, tandis qu'un autre groupe est traité avec le placebo. La méthode permet d'éliminer l'action psychologique du produit examiné.

ÉQUIPEMENT

HAUT-PARLEURS

GRAVE : transducteur de 200 mm à membrane exponentielle bextrême.

- Diamètre utile de la membrane : 140 mm.
- Diamètre de la bobine mobile : 26 mm.
- Diamètre de l'aimant : 96 mm.
- Induction : 14.500 Gauss.
- Flux : 46.500 Maxwells.
- Poids total : 1,500 kg.
- Fréquence de résonance : 34 Hz.

MÉDIUM : transducteur hémisphérique de 34 mm à membrane en tergal imprégné.

- Diamètre utile de la membrane : 34 mm.
- Diamètre de la bobine mobile : 35 mm.
- Diamètre de l'aimant : 96 mm.
- Induction : 10.500 Gauss.
- Flux : 34.300 Maxwells.
- Poids total : 0,800 kg.
- Fréquence de résonance : 700 Hz.

AIGU : transducteur conique à membrane aluminium traitée.

- Diamètre utile de la membrane : 50 mm.
- Diamètre de la bobine mobile : 13 mm.
- Diamètre de l'aimant : 56 mm.
- Induction : 12.500 Gauss.
- Flux : 16.000 Maxwells.
- Poids total : 0,300 kg.
- Fréquence de résonance : 980 Hz.

FILTRE

- Pentes : 12 dB - 18 dB - 6 dB.
- Raccordement : 2.200 - 9.000 Hz.

Utilisation de selfs à air insaturables et de condensateurs au papier métallisé.

ENCEINTE ACOUSTIQUE

Type à cavités couplées et résonateurs accordés non close.

- Dimensions : H. 61 - L. 26 - P. 30 cm.
- Coffret en aggloméré qualité label à haute densité épaisseur des parois : 17 mm.
- Finition : placage d'ébénisterie couleur noyer.
- Façade et fond : laque brune.
- Poids : 16 kg.

PERFORMANCES ÉLECTROACOUSTIQUES

- Impédance nominale : 7 ohms.
- Impédance minimale : 5,7 ohms.
- Tension nominale : 19 volts.
- Puissance nominale : 40 watts (bande 100-8.000 Hz).
- Axe de référence : axe de l'enceinte.
- Point de référence : point équidistant du médium et de l'aigu.
- Courbe de réponse : 60-25.000 Hz \pm 2 dB (voir courbe).
- Domaine utile de fréquences : 35-25.000 Hz.
- Efficacité caractéristique : 89 dB.
- Caractéristiques directionnelles : voir diagramme polaire.
- Pression acoustique caractéristique nominale : 105 dB.
- Sensibilité : - Pour 90 dB : 3,2 V.
- Pour 94 dB : 4,8 V.
- Distorsion harmonique : - de 125 à 250 Hz inférieure à 1,5%.
- de 250 à 1.000 Hz inférieure à 1%.
- au-delà de 1.000 Hz inférieure à 0,1%.

PUISSANCE LIMITE D'UTILISATION : 65 watts (N.B. un régime musical étant essentiellement composé de phénomènes transitoires, la puissance des électroniques à y associer peut être doublée sans danger).

RACCORDEMENT : Bornes à vis à polarités repérées. Protection par fusible retardé.

UTILISATION : Surélevée de 30 cm du sol, non adossée à un mur et les tweeters à l'intérieur du triangle d'écoute, écartement maximum 3 mètres.

Deux produits physiologiquement efficaces. Les placebos doivent se présenter, aussi, sous une forme capable de les rendre crédibles.

20 Gélules

MIGRAINES, CEPHALEES
DOULEURS DES REGLES
NEURALGIES
DOULEURS RHUMATISMALES
DOULEURS DENTAIRES

Médication spécifique des douleurs de toutes origines.

FORMULE :

• Salicylate de phényl diméthyl pyrazolone (Salicylate d'antipyrine)	0,225 g
• Caféine	0,0625 g
• Codéine	0,0015 g
• Chlorhydrate d'amyléine	0,0020 g
• Excipient	q.s.p. une gélule

L'action des Gélules MIGRALGINE résulte de l'association de ses différents composants, qui permet de lutter contre la douleur.

MODE D'EMPLOI ET POSOLOGIE USUELLE :

- 2 à 6 gélules par jour. En moyenne 4 gélules par jour.

Ne pas administrer aux enfants de moins de 30 mois.

Placebo acoustique ?

Reprenons nos premiers exemples (et l'expérience de chacun) et notre exposé sur le placebo biologique. Nous pouvons ensuite nous amuser à changer les termes stimulus chimique par stimulus acoustique, médecin par électronicien ou acousticien, présence d'un principe actif par réelle modification d'un circuit, patient par auditeur... Nous pensons que le parallélisme est vite établi.

Il ne nous reste plus qu'à fabriquer de « faux » amplificateurs avec une énorme notice et un démonstrateur titulaire d'un doctorat.

Il faudrait toutefois ne pas tomber dans ce travers, car, en biochimie comme en acoustique, sauf dans des cas exceptionnels, l'organisme réagit normalement aux agents extérieurs qui se dirigent vers les principes de base du fonctionnement biologique. L'homme, enfin, est toujours sensible aux véritables principes actifs... quand ils sont bien trouvés et bien employés !

**Page non
disponible**

Evaluation des cellules par comparaison bande-disque

lère partie

Jean-Marie Piel

Tout audiophile digne de cette appellation (non contrôlée) a essayé ou entendu au moins une fois dans sa vie, parmi la multitude des cellules existantes, celles qui se sont acquises plus ou moins promptement la réputation de nec plus ultra. On n'en compte guère plus d'une dizaine au total.

Autrement dit, dans nos têtes pensantes, ces têtes lectrices font l'objet d'un classement plus ou moins subjectif et d'un étiquetage plus ou moins artistique, qui laissent étonnamment peu de place au doute. Une enquête même rapide en dit long à ce sujet : « La Shure V 15 III ? Pas mauvaise ! Elle lit bien, mais elle manque de dynamique et son aigu est un peu acide... ». A force d'expériences, d'échanges et de recoupements, les audiophiles avertis finissent par se faire des cellules les plus en vue une opinion au moins aussi définie que s'il s'agissait d'enceintes... Et c'est bien là le paradoxe : des méthodes d'investigation les plus vagues, les plus irrationnelles sortent les évaluations les plus péremptoires... Pouvait-on prévoir que d'une méthode d'expérimentation réellement rigoureuse allaient sortir des surprises certaines et des différences diablement difficiles à hiérarchiser...

Une idée de professionnel du disque

Comme pour une enceinte, on se contente ordinairement pour tester une cellule de choisir quelques disques et de confronter mentalement les résultats à ce que l'on a l'habitude d'entendre (référence mentale). Sans que nous en ayons clairement conscience, notre jugement dépend ainsi avant tout de l'idée que nous nous faisons de ces divers enregistrements...

A moins de posséder les bandes originales et de savoir que celles-ci n'ont pas été corrigées pour la gravure du disque, nous ne connaissons en fait ces enregistrements que par le truchement de nombreux intermédiaires. D'abord, à travers la cellule avec laquelle nous avons l'habitude d'entendre ces enregistrements.

Au mieux, une telle méthode d'évaluation subjective permet de dire : « avec tel disque, la cel-

lule X est celle que je préfère ». En aucun cas, elle n'autorise à affirmer : « la cellule X est la plus proche de la réalité ».

Car cette réalité, dans ces conditions, c'est la réalité du disque et non du message original.

Peut-être faut-il être un professionnel du disque pour avoir pleinement conscience des déformations volontaires (corrections) que l'on inflige à la bande avant gravure du disque ?

Toujours est-il que la méthode que nous allons décrire nous a été inspirée par un « professionnel de la gravure », Georges Batard...*

Une méthode presque idéale...

L'idée est simple : le rôle d'une cellule est de lire exactement le disque, avec ses défauts comme avec ses qualités. Le disque, on s'en fait une idée d'après une ou plusieurs cellules de référence. Très bien. Mais, quand il s'agit précisément d'évaluer ces cellules de référence ? La seule solution consiste à faire une comparaison avec la bande mère...

Pour que l'expérience soit pleinement valide, il s'agit évidemment de prendre quelques précautions. La plus importante est de n'avoir aucune correction, aucune différence de courbe entre le disque et la bande originale.

Georges Batard a donc choisi pour faire la gravure du disque d'essai, non seulement le magnétophone mais aussi les câbles (!) qui ont servi à l'enregistrement. A partir d'un enregistrement (1ère séquence : un cœur d'enfant, 2ème séquence : voix et percussions) de très haute qualité (deux micros statiques AKG C 451 spécialement calibrés - couple ORTF, écartement 17 cm, angle 110°, magnétophone Revox réglé pour une parfaite linéarité ; vitesse d'enregistrement : 38 cm/s), sans la moindre correction, une acétate a été gravée sur une machine Neumann, avec un soin extrême...

Il restait à choisir la chaîne qui nous permettrait de faire au mieux nos comparaisons.

Cette chaîne, le lecteur la connaît bien, puisqu'elle est constituée exclusivement des Réalisations de l'Audiophile : enceintes Onken/Mahul (caisson de grave réalisé avec un soin maniaque pour éviter le traînage ! Barres-entretoises en acier, etc. Ainsi réalisés (cf. Audiophile n° 12), les caissons Onken sont totalement dénués de résonances et de traînage ; le

*directeur du kiosque d'Orphée

bas-médium est d'une surprenante transparence), amplificateur Hiraga 2 fois 20 watts classe A, préamplificateur Kanéda carte C alimenté par batteries, et platine Verdier dont l'inertie du plateau et la suspension sont à l'abri de toutes critiques (et de tout risque d'accrochage !).

Le choix du bras, quant à lui, ne pouvait être simple. Il existe de nombreux bras excellents, mais chacun correspond plus ou moins à un type de cellule déterminé. Dans ce domaine, des mesures précises restent à faire. L'important n'est-il pas en premier lieu que la résonance bras-cellule soit la plus basse et la mieux amortie possible ? A cet égard, il existe des bras relativement universels. Nous avons choisi le modèle construit par Mission. Nous aurions pu en choisir d'autres, mais ce bras donne d'excellents résultats avec la plupart des cellules de masses moyennes, et son système d'amortissement ajustable comme celui du SME III permet de tenir compte des caractéristiques de souplesse propres à chaque cellule.

Il restait le choix d'un transformateur pour les cellules à bobine mobile. Finalement, nous avons utilisé deux transformateurs : le A 75 Anzai, et l'imposant Silver Transformer d'Audio Note ; l'intérêt de ce dernier étant la possibilité de sélectionner l'impédance d'entrée correspondant au mieux à chaque cellule.

Le choix du transformateur est loin d'être anodin. Entre deux transformateurs de haute qualité, les différences peuvent être plus importantes qu'entre deux cellules de haute qualité. Nous reviendrons sur ce point qui mériterait à lui tout seul une longue et minutieuse écoute critique comparative...

L'égalisation des niveaux : un impératif catégorique

Lorsqu'on compare des matériels entre eux, il est un point auquel on ne prête pas toujours toute l'attention nécessaire. Ce point de première importance, c'est l'égalisation des niveaux. Une fraction de décibel en plus ou en moins peut faire basculer les préférences subjectives d'un matériel sur un autre.

A cet égard l'oreille est d'une prodigieuse sensibilité. Dans un premier temps, nous avons, à l'aide d'un voltmètre, rigoureusement égalisé la tension aux bornes des haut-parleurs - séparément, sur chaque canal -, que la modulation

proviennent du magnétophone ou de la platine tourne disque. Un signal de référence de 1 kHz avait été prévu pour cette égalisation. Or, à l'oreille, en passant de l'un à l'autre (sur le même programme musical : bande, puis acétate). On pouvait percevoir encore de légers écarts de niveau, écarts que Georges Batard, Gérard Chrétien et moi percevions dans le même sens sans nous être concertés.

A force de patience, il parvient à l'oreille une égalisation sensiblement plus fine qu'avec des instruments de mesure. Mais, pour rentrer plus dans le détail, il faudrait préciser que de légères différences de courbes (et peut-être même de dynamique) entre la lecture de la bande et la lecture du disque ne facilite pas ce travail d'égalisation, et qu'il est souvent nécessaire de s'y appliquer en plusieurs fois ; sans compter la perte de niveau lors de la lecture du disque, perte pouvant atteindre 3 dB entre les deux extrémités du sillon...

L'importance des réglages

Une autre chose beaucoup plus longue encore à réaliser est le réglage de chaque cellule : réglage de la force d'appui, de l'overhang, de l'angle d'attaque horizontal et vertical. Ce dernier est sans doute le plus important. Avec certaines cellules (profil de diamant très aigu), une erreur de 1 ou 2° peut se solder par une augmentation considérable du taux de distorsion d'intermodulation. Autrement dit, il est nécessaire pour chaque cellule de régler la hauteur du bras au demi-millimètre près...

Pour ce qui est de la compensation de la force centripète, on sait que pour être efficace sa valeur devrait varier, comme la force centripète elle-même, selon que l'on se rapproche plus ou moins du centre du disque. Il s'agit donc sur tous les bras (sauf les bras tangentiels) d'un compromis.

D'un transformateur à l'autre

Avant de passer aux résultats d'écoute, parlons un peu des transformateurs pour les cellules à bobine mobile. Comme nous le disions, ils introduisent des différences de timbre très perceptibles. Il faut ajouter qu'ils introduisent aussi des différences de niveau pouvant aller du simple au double. C'est une affaire de rendement, donc de pertes magnétiques plus ou moins grandes et d'adaptations d'impédance plus ou moins bonnes.

A priori, il faut donner la préférence au transfo qui, avec une cellule déterminée, offre le niveau de sortie le plus élevé (et naturellement le taux de distorsion le plus bas).

Dans le cadre de cette écoute comparative, nous n'avons essayé que deux transfos : le Anzai A. 75 » et l'Audio Note « Silver transformer ». Le niveau de sortie le plus élevé était délivré par l'Anzai. Par ailleurs, ce dernier, quelles que soient les cellules essayées, procurait un peu plus d'extrême aigu. Avec l'Audio Note la courbe nous a semblé légèrement plongeante (à moins que celle de l'Anzai ne fût ascendante !).

En résumé, lorsqu'on écoute une cellule à bobine mobile, c'est autant le transfo que la cellule elle-même que l'on écoute. Cela n'est pas pour simplifier les résultats...

La surprise

En lisant la première partie de cette expérience, quelques lecteurs sourient-ils peut-être déjà... « Comparer le disque à la bande ! Vous n'y pensez pas ! L'écart de qualités est bien trop grand pour qu'on puisse en tirer la moindre conclusion... »

Avant cette séance, tel était bien mon point de vue et celui de Gérard Chrétien...

Pourtant, il faut se rendre à l'évidence : lorsque tous les réglages furent convenablement faits, avec les cinq cellules que nous avons testées, la différence entre le disque et la bande était si faible qu'il nous a fallu une concentration certaine pour reconnaître l'un de l'autre...

On discerne un peu plus de définition et de transparence avec la bande, un peu plus de grave, un peu plus de rondeur avec les cellules... Evidemment, nous n'avons pas choisi parmi les plus mauvaises cellules du marché : Dynavector DV Karat et Denon DL 103 pour les bobines mobiles, Nagaoka MP 50 et Shure V15 IV pour les aimants mobiles. Nous n'avons pu disposer d'une Koetsu pour ces premiers essais. Nous pensons être en mesure d'en parler dans le prochain numéro.

Ainsi, nous avons du mal à distinguer infailliblement la lecture du disque de la lecture de bande (j'entends d'ici une poignée de puristes s'exclamer : faut-il être sourd pour ne pas distinguer immédiatement la différence entre l'une et l'autre sources !... »). Il va de soi que les différences sont extrêmement subtiles et donc difficiles à caractériser avec des mots...

Il faut noter que la laque (acétate), par sa dureté moins grande que celle du vinyl, peut être responsable d'une légère atténuation de l'extrémité haute du spectre. Il serait intéressant dans l'avenir de tenter ce même type d'expérience avec un disque (vinyl) et non pas une laque.

Voici toutefois ce que nous avons perçu :

Dynavector

Bonne approche de la bande, mais cette dernière procure de meilleurs transitoires et moins d'épaisseur. La voix est plus en bas-médium avec la Dynavector.

Denon DL 103

Restitution plus proche de la bande. Il reste un léger renflement dans le bas, le haut est moins lumineux qu'avec la bande, mais l'écoute est de même nature et il est réellement difficile de distinguer le disque de la bande.

Nagaoka MP50

Peut-être encore plus proche par l'équilibre général. Une légère acidité dans l'aigu (pointe dans l'extrême-aigu ?). Beaucoup de détails.

Shure V 15 IV

Avec cette cellule, la restitution du disque serait proche de la perfection (c'est-à-dire de la bande originale) s'il n'y avait un traînage dans le grave (la peau d'un grand tambour paraît moins

tendue). On a une impression de limpidité et de fluidité que les autres cellules ne procuraient pas.

Conclusion

Nous aimerions en apprendre plus aux lecteurs, nous aimerions en dire plus long... Hélas ! Nos notes d'écoute ne nous le permettent pas.

D'autres essais sont prévus avec entre autres la fameuse Koetsu. Nous nous attachons aussi à perfectionner notre méthode et nous vous donnerons dans le prochain numéro des commentaires plus détaillés.

Quelle conclusion tirer de cette troublante expérience ? Nous l'avons déjà laissée entendre : s'il est parfaitement réalisé et s'il est lu par une excellente cellule, le disque se révèle incroyablement proche de la bande magnétique. La perte de la qualité est infime : un peu moins de transparence, de définition, de piqué, un équilibre global légèrement différent. Voilà tout. Notons d'ailleurs que la différence de qualité est curieusement plus sensible lorsque on passe de la bande au disque, que du disque à la bande. De nombreux audiophiles ont pu déjà ressentir ce phénomène : quand on apporte une infime amélioration à sa chaîne, on a l'impression que le gain de qualité est spectaculaire ; en revanche, on a du mal à percevoir une dégradation (très progressive, il est vrai) de la qualité, dégradation causée par l'usure du diamant, l'oxydation des contacts, etc...