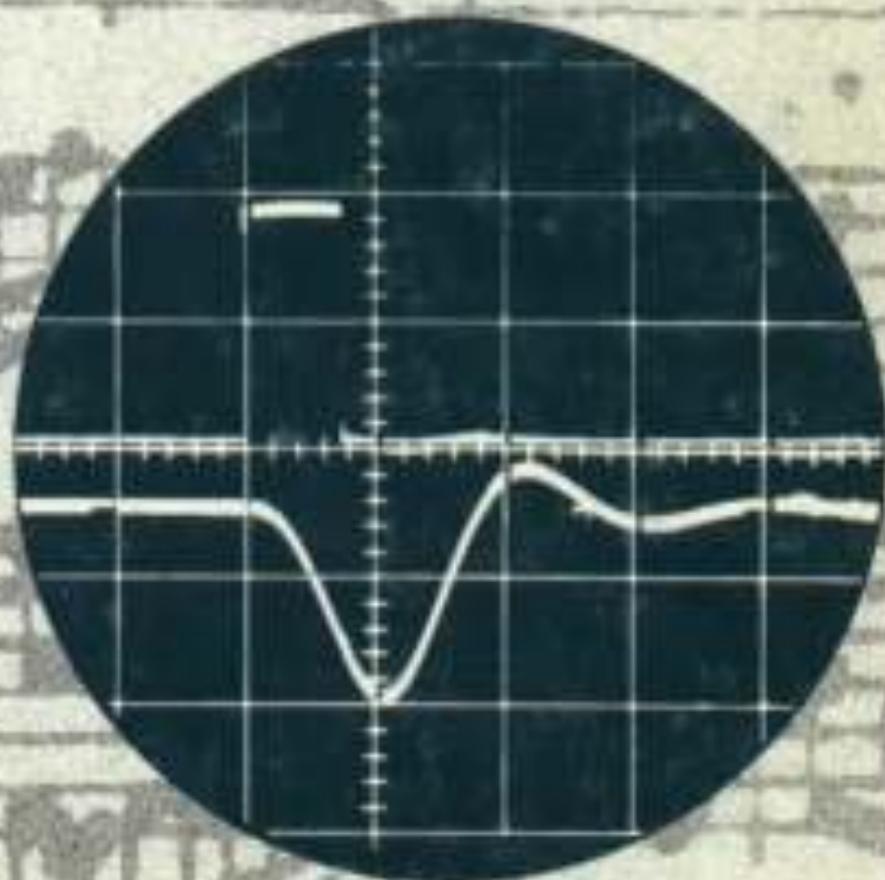


L'AUDIOPHILE

LA REVUE DU HAUT DE GAMME



N°9

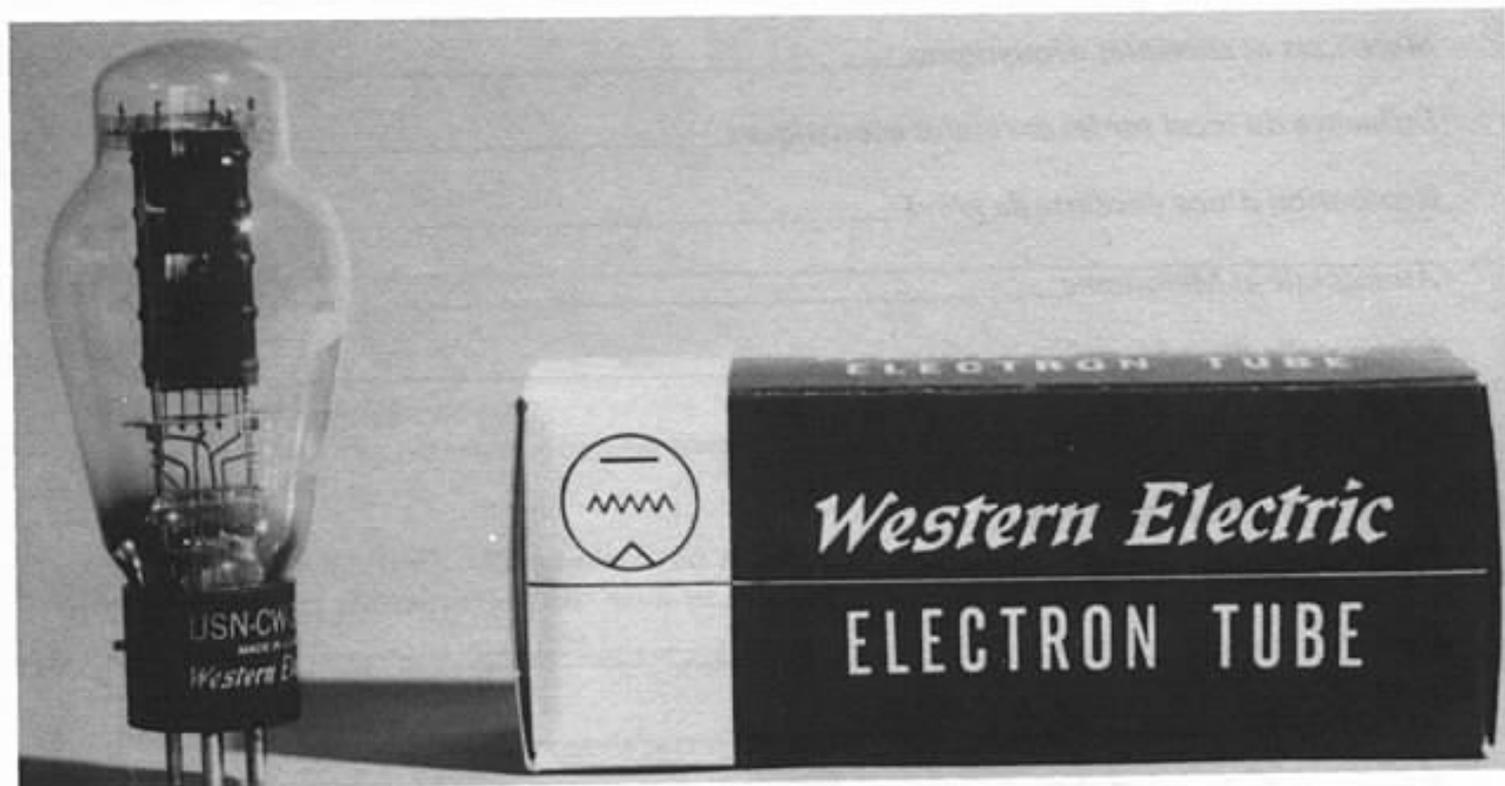
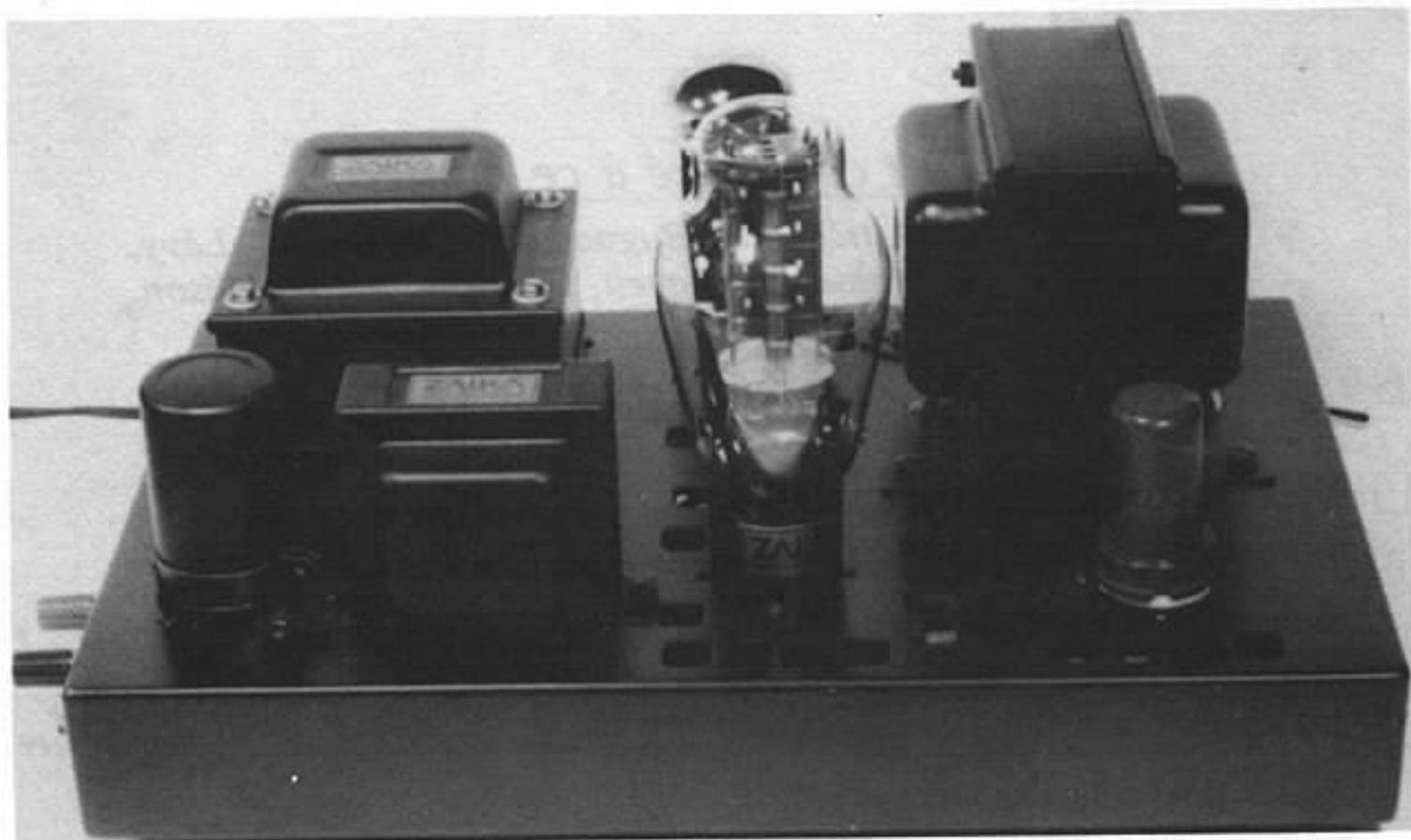
Mars 1979
prix 24 F

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**



Réalisation de l'amplificateur 300 B Modèle Anzai Zaïka

Jean Hiraga

Dans le numéro sept, nous avons décrit le préamplificateur Anzai SRPP que les lecteurs doivent à présent mieux connaître. Dans le présent numéro, nous pensions en fait décrire soit un amplificateur transistorisé classe A Kanéda de 30 ou 50 Watts. Mais nous avons préféré compléter le circuit préamplificateur SRPP Anzai par l'amplificateur Anzai 300 B.

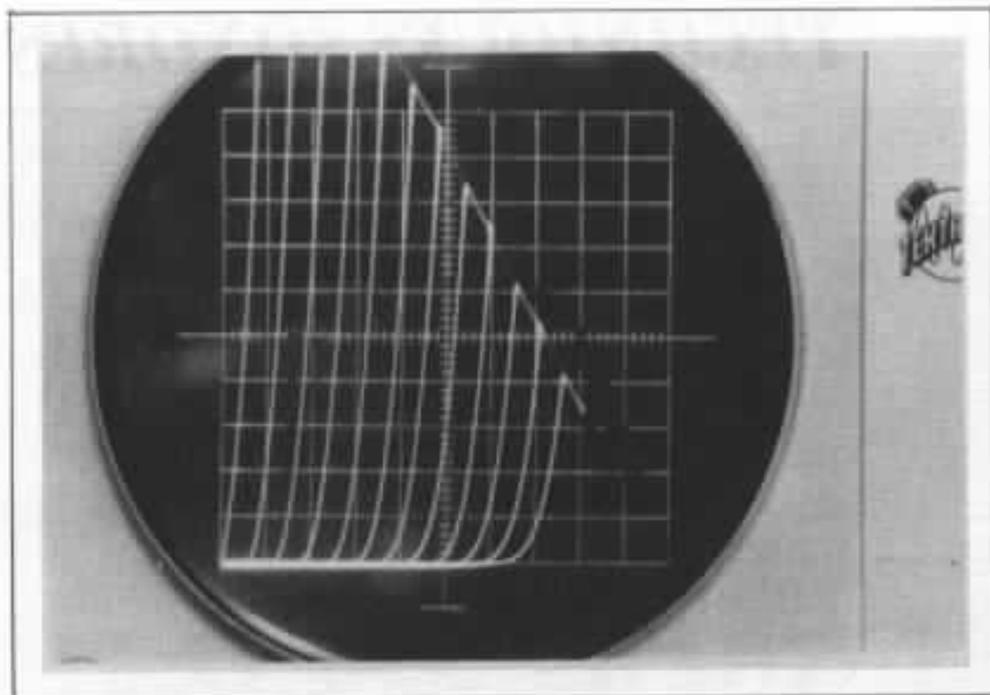
Dans le numéro 1 nous avons décrit l'amplificateur 300 B utilisé par un fanatique japonais, M. Tanaka. Il s'agit en fait d'un circuit Anzai modifié « à la Tanaka ».

Mais il nous a semblé non seulement bon, mais indispensable aux lecteurs de leur faire connaître en détail les raisons et particularités de l'utilisation d'un seul bon tube triode de sortie. Si la vogue renaît pour les amplificateurs à tubes pour usage haute-fidélité utilisant pour la plupart des tubes pentodes tout à fait classiques comme l'EL 34 ou la KT 88, il est toutefois indispensable d'insister sur les qualités exemplaires d'un tube triode à chauffage direct, de grande dissipation anodique et de très bonne linéarité tel que WE 300 B.

Le tube 300 B est un tube d'origine américaine. Dès que la première triode fut commercialisée (pour usage militaire) par la Western Electric en 1913, la VT1 (ou 203 A), on se pencha aussitôt sur l'étude de triodes plus puissantes. Ainsi naissaient successivement la VT2/205 B, la 10, la 200 A, la UX 00A, la 300 A.

Cette dernière, créée en 1929 est déjà d'une construction proche de la 300 B. Ce tube servit pour l'un des meilleurs amplificateurs de l'époque, le Western Electric 86 A (push-pull de 300 A) qui ne contenait pas moins de cinq selfs de filtrage, des ampèremètres et voltmètres mesurant le courant anodique, la polarisation des

tubes d'entrée et de sortie, et de nombreux « gadgets » très avancés pour l'époque. Après 1930, où naissait déjà le cinéma parlant, la Western Electric pensa aussitôt à l'étude d'un autre amplificateur moins onéreux, de construction universelle, (entrées, impédances, etc...) et de grande fiabilité. C'était



Caractéristiques du tube VT52. Origine Hytron (USA). Echelle : U_p : 50V/carreau, I_p : 5mA/carreau, $-U_g$: 10V/trace.

l'amplificateur Western Electric WE 91A.

Pour cet amplificateur étudié, cela nécessitait un tube de sortie de grande linéarité, très fiable, de dissipation plaque importante (plus de 30 Watts). Malgré les premiers haut-parleurs de haut rendement à chambre de compression (utilisés dans les théâtres et salles de spectacle) il fallait, vu le rendement voisin de 30 % pour l'étage de sortie, pour obtenir une puissance modulée

de 10 Watts une dissipation plaque d'au moins 35 Watts.

Facile à dire mais bien difficile à réaliser sans nuire à la qualité d'une bonne triode comme la 45 ou la VT 52 aux caractéristiques V_p/I_p exceptionnellement linéaires* (voir photo) : surface de plaque plus importante, donc augmentation des capacités inter-électrodes, augmentation du courant grille (qui devrait être nul pour un tube idéal), problè-

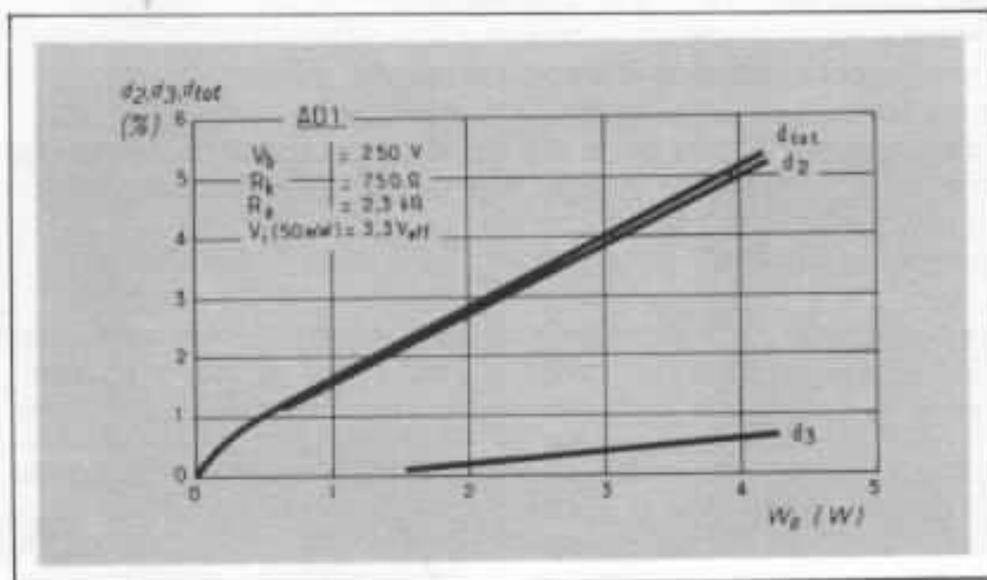


Fig 1 : Rapport des harmoniques dans la distorsion totale pour le tube AD1.

mes de température, de rigidité, de vibrations parasites (effet microphonique provoqué par la grille ou le filament), courant filament important, durée de vie du tube, problèmes d'annulation du ronflement sur chauffage en alternatif (à cause des montages série parallèle parfois utilisés).

Mais il fallait aussi une bonne qualité de reproduction, et si une bonne pentode de puissance aurait pu suffire (car rendement beaucoup plus élevé), on avait déjà pensé au grave problème du spectre harmonique de distorsion d'un tube pentode par rapport à un tube triode. Prenons l'exemple flagrant du tube allemand AD1 (Philips, Telefunken, Valvo, etc.). La figure 1 montre le rapport des harmoniques dans la distorsion totale, par rapport à la puissance de sortie : l'harmonique 2 prédomine alors que l'harmonique 3 est nettement inférieur en pourcentage. De même, la combinaison de deux triodes donne un spectre de distorsion extrêmement régulier, c'est-à-dire avec chaque harmonique bien « dégradé » avec la fréquence. C'est ce que nous donne l'exemple concret du même tube AD1 combiné au tube d'attaque ABC1 (Fig. 2). Par contre, le tube pentode, quel qu'il soit ne peut offrir qu'un spectre de distorsion proche de la figure 3, c'est-à-dire à la fois irrégulier, avec H3 prédominant au-delà d'une certaine puissance de sortie. Même bien étudié, un amplificateur utilisant un tel tube pentode risque d'être du point de vue musical beaucoup moins fidèle ; Montées en push-pull deux de ces pentodes donneraient sur ce point encore plus de désavantages, vu la suppression de tous les harmoniques de rang pair. Et c'est pour pallier à ces défauts que le tube 300 B fut créé. « Super Triode », toujours considéré comme le « Roi » des triodes, notamment au Japon où l'on s'arrache à prix d'or les

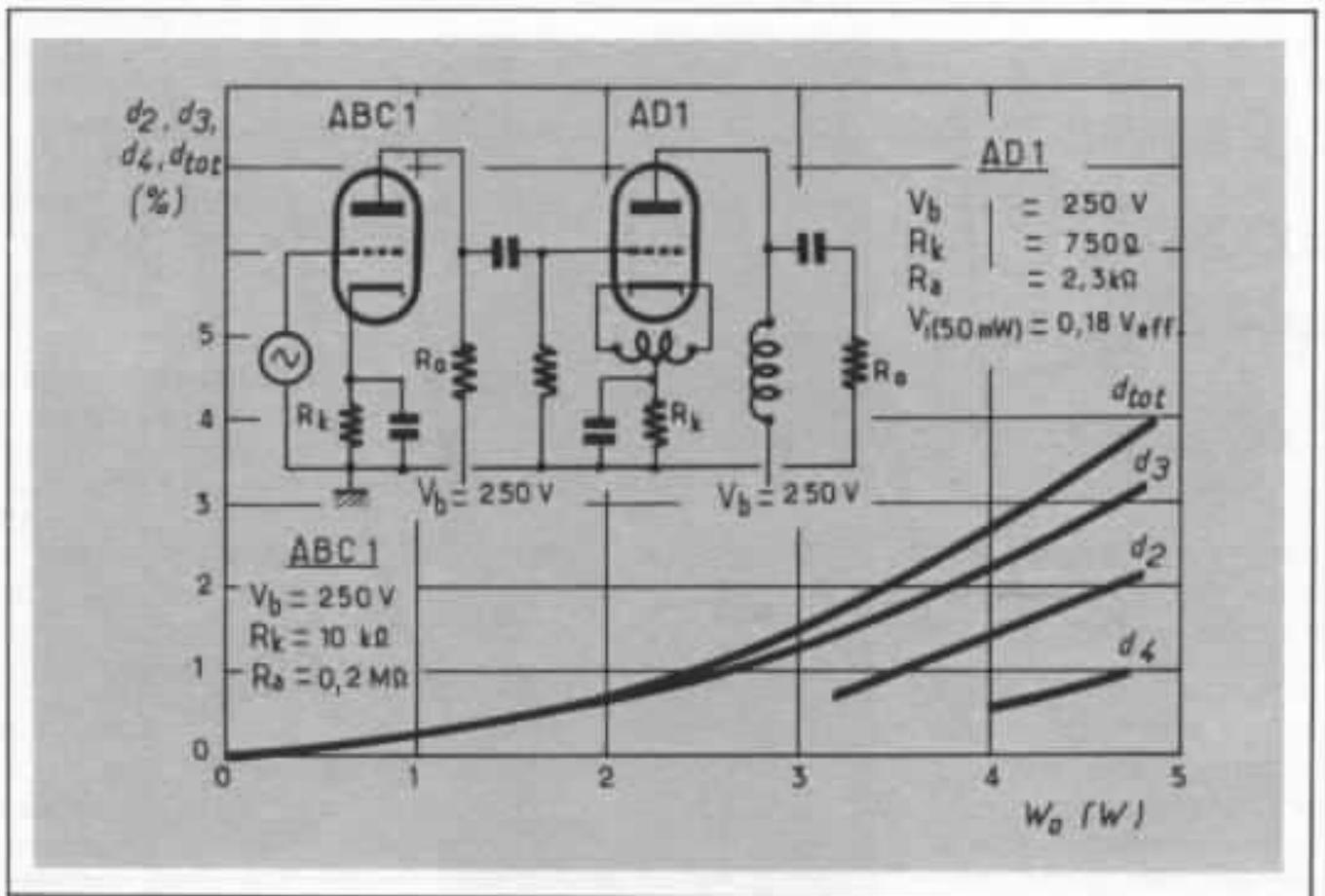


Fig 2 : Combinaison ABC1 + AD1, remarquer le dégradé des harmoniques.

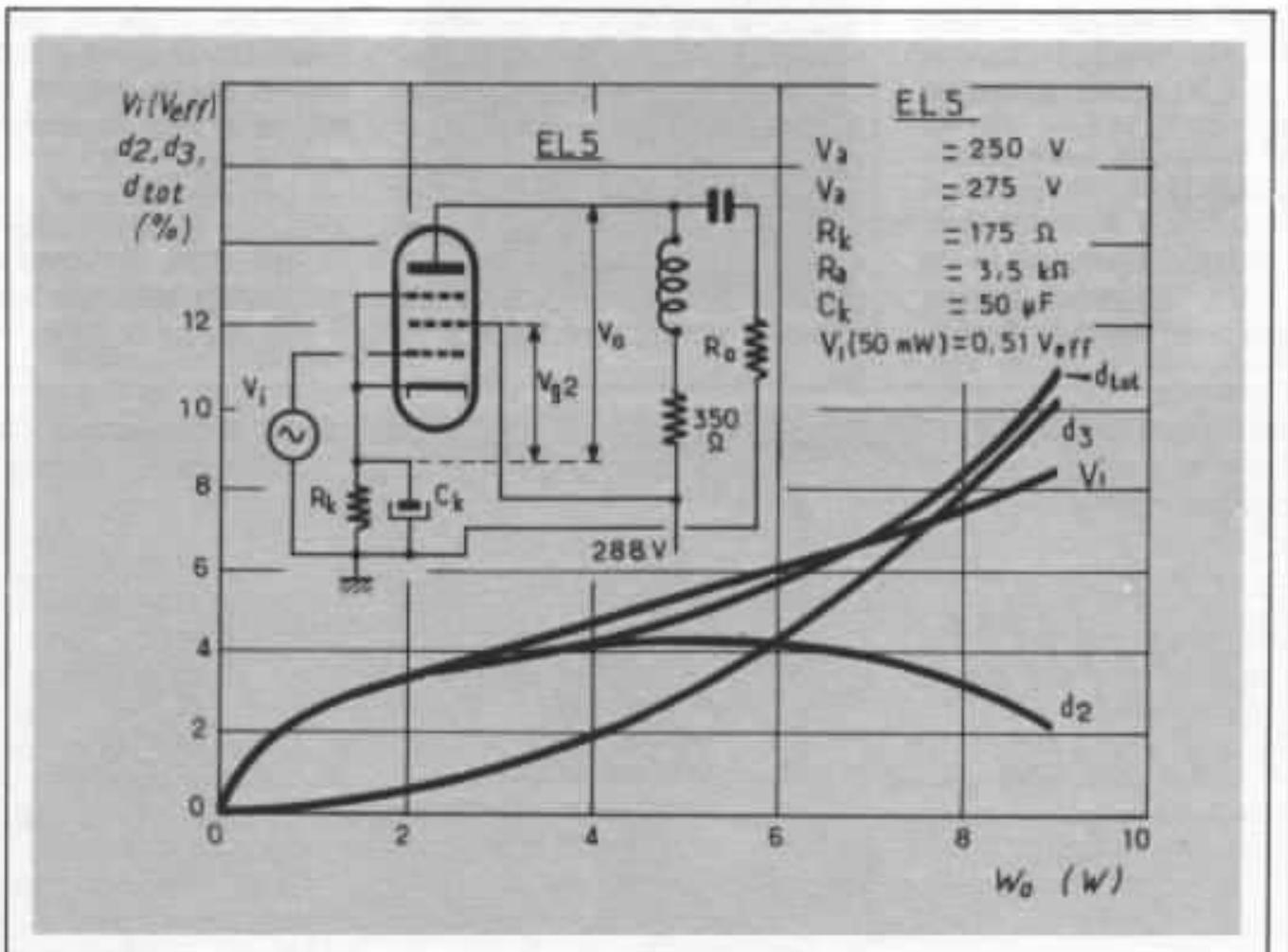


Fig 3 : Cas d'un tube pentode EL 5, le spectre de distorsion est irrégulier.

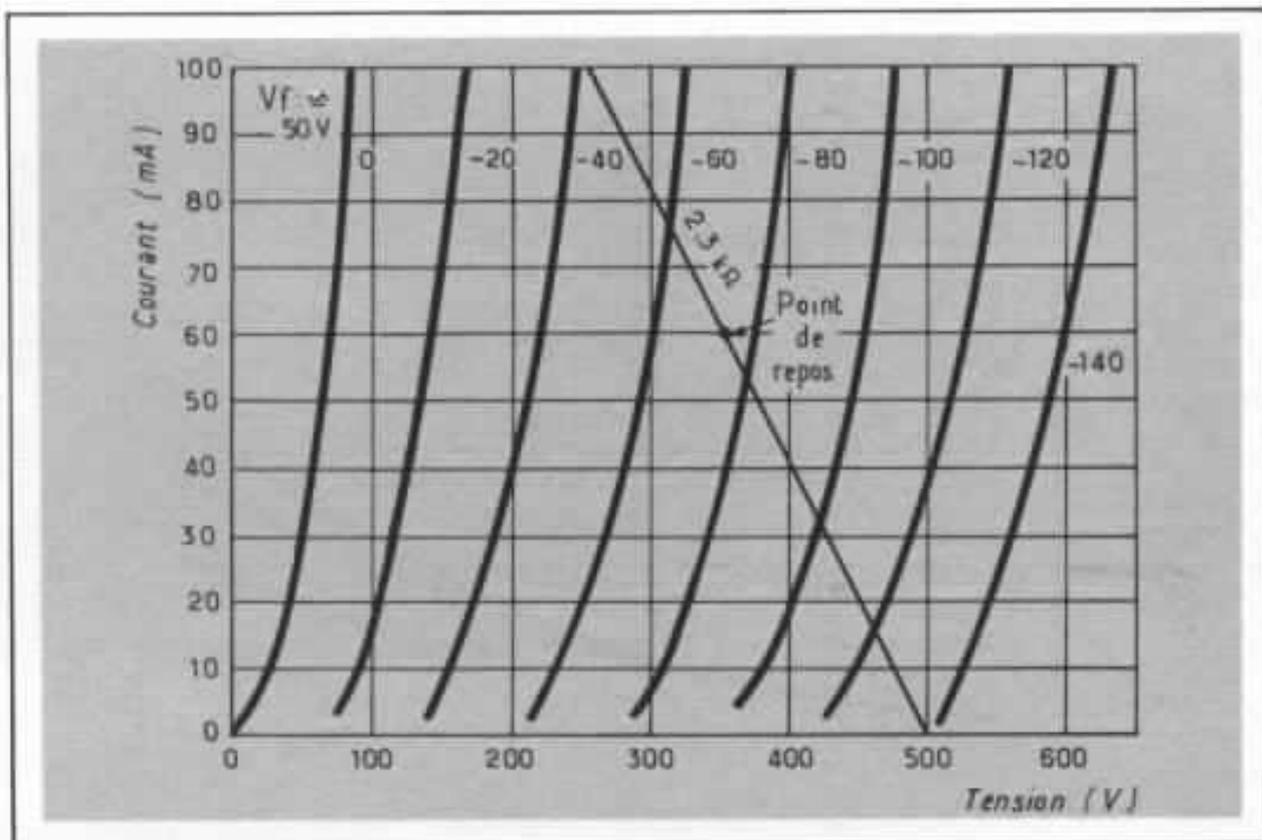


Fig 4 : Caractéristiques U_p/I_p du tube 300 B. La linéarité est excellente.

meilleures cuvées » de WE 300 B (années 1948 - 1960), il s'agit d'une triode tout à fait exceptionnelle.

Le Tube 300 B

De dissipation plaque 40 Watts, il est exceptionnellement robuste (durée de vie donnée

pour 10 000 heures à demi-puissance), aux linéarités des caractéristiques U_p/I_p extraordinairement bonnes vis-à-vis de la dissipation plaque, (voir figure 4), pouvant donner un maximum de 17,8 W en simple étage, et ayant malgré tout un courant de fuite de grille pratiquement nul (0,2 à 0,5 μ A.)

Mais concernant la linéarité des caractéristiques (Fig. 4) celles-ci ont été obtenues après avoir surmonté de très nombreux problèmes tels que :

- émission filament (couche émissive, matériaux etc.) ;
- géométrie des électrodes ;
- configuration du bobinage et du pas de la grille.

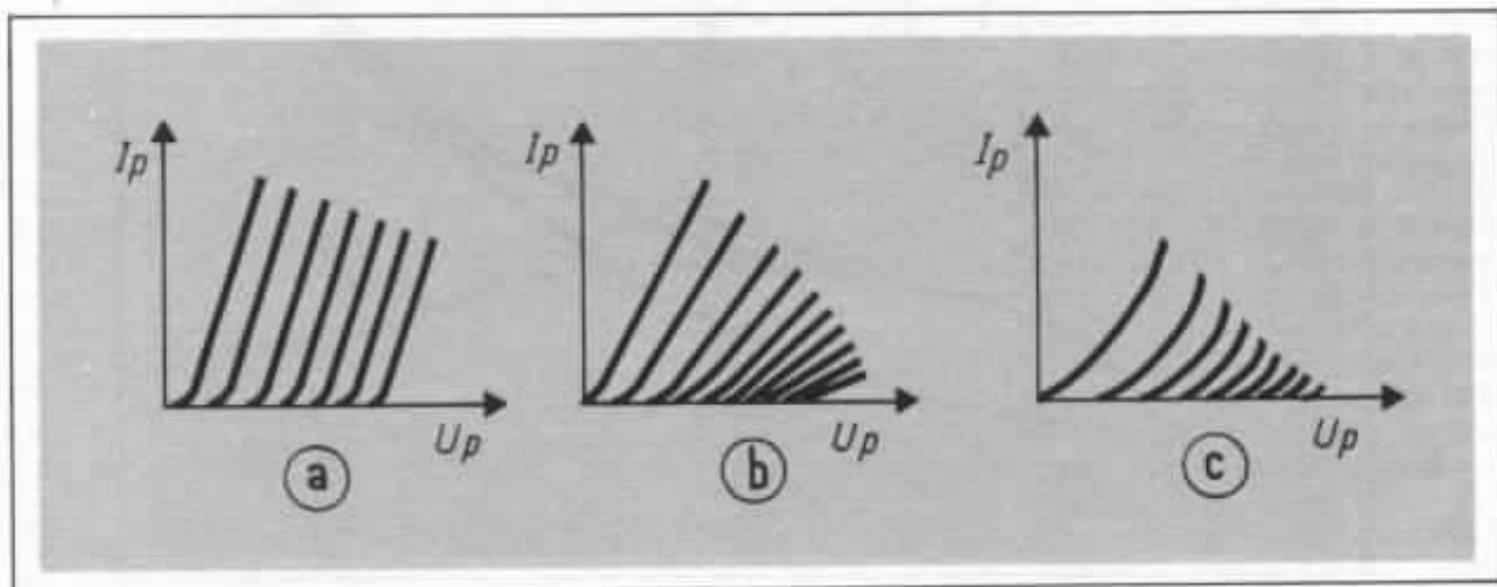


Fig 5 : Influence de la configuration du bobinage sur la linéarité des caractéristiques.

Ce dernier point est le plus intéressant car, s'il est possible avec un bobinage à pas constant d'obtenir, pour une faible dissipation plaque (tube 45, etc.) des caractéristiques ressemblant à celles de la figure 5a, pour une même géométrie de plus grande surface les caractéristiques prennent facilement l'allure de la figure 5b ou 5c. Parmi ces figures, la 5c est la moins favorisée car produit de l'harmonique 3 ou de rang impair. C'est ainsi que les ingénieurs de la Bell System, dans leur brevet d'invention n° 1799850 déposé en 1931 proposèrent pour la 300 B, une grille bobinée d'une façon non constante en deux points, tout comme le montre la figure 6, où la grille, vue de côté, possède quelques spires plus larges et calculées pour redonner au tube une bonne linéarité. Bien que M. Anzai, spécialiste des tubes ait pu refaire le même tube (toujours si recherché dans tous les points du monde), plusieurs autres ayant tenté de refaire le 300 B ont échoué sur ce projet, tant du point de vue technique que du point de vue subjectif.

Les caractéristiques du tube 300 B, figure 7 ainsi que le tableau 8 permettent une utilisation aisée entre 200 V et 450 V qui, pour différentes polarisations et charges de sortie donnent une puissance modulée comprise entre 2,6 Watts et 17 Watts.

L'amplificateur Anzai Zaïka 300 B

C'est un circuit extrêmement simple où le 300 B est la pièce maîtresse (ainsi que le transformateur de sortie). Le choix de l'impédance de charge optimum n'a cependant pas été basé uniquement que sur des considérations mathématiques. M. Anzai a voulu aussi tenir compte des questions de bobinages des

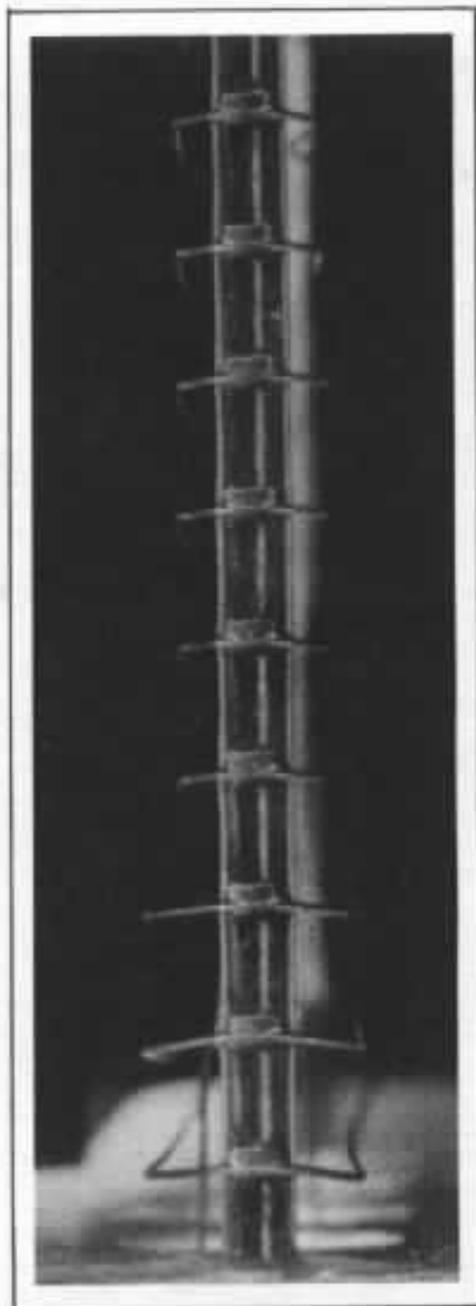


Fig 6 : Grille du tube 300 B, le bobinage n'est pas à pas constant pour améliorer la linéarité des caractéristiques.

transformateurs avec tous les effets annexés de qualité ou de définition subjective. Malgré une charge théoriquement optimum de l'ordre de 3,8 à 4 K Ω , donnant le meilleur rapport puissance/distorsion, une valeur de 2,3 K Ω a été utilisée : une impédance plus élevée complique les bobinages primaires secondaires et les divers sandwichages de ceux-ci, augmentant les fuites et désavantageant le facteur de

volume. Par contre, le transformateur de sortie doit être très largement dimensionné. Ce n'est pas par snobisme mais simplement pour ne pas réduire, en fonction de la puissance de sortie, la self primaire qui pourrait faire chuter très rapidement le niveau du grave ; ceci donne 50 watts dont 5 watts utilisés par le tube 300 B.

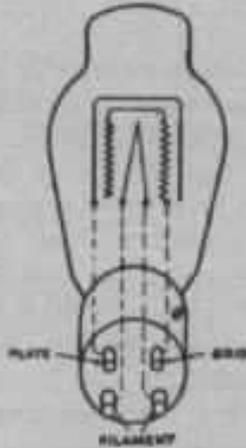
Ce transformateur de sortie à simple étage, à cause du passage du courant continu, comporte un entrefer. Il doit malgré tout avoir une bande passante très large, plus de 100 kHz, pour satisfaire aux conditions de phase. Pour une rotation de 10° à 20 kHz, exigée pour l'obtention d'une bonne stabilité lors de l'application d'une boucle de contre réaction ou encore sur charge complexe, le modèle Zaïka possède une bande passante à -5dB près, comprise entre 6 Hz et 150 kHz, sous un courant de 100 mA (fig. 9). Dans le secteur grave et pour un même circuit magnétique, le fait d'avoir ou de ne pas avoir d'entrefer donne pour un même bobinage un rapport d'inductance pouvant chuter de 200 H (sans entrefer) à seulement 15 ou 18 H (avec entrefer). Avec entrefer, un passage plus important de courant fait encore chuter l'inductance primaire, ce qui explique le grand surdimensionnement de tous les transformateurs de qualités de ce genre, pour lesquels un bon exemple est le fameux transformateur japonais TANGO, réf : FW 150 2 SR, qui bien qu'utilisé sous puissance 6 à 7 Watts maximum peut travailler à 150 watts (40 Hz) sans aucune trace de distorsion ou d'instabilité. Ceci garantit une bonne linéarité dans les basses fréquences, quel que soit la puissance de sortie.

Cet ensemble tube de puissance/transformateur de

IMPORTANT - READ CAREFULLY

Western Electric

300B Vacuum Tube



CLASSIFICATION

The 300B vacuum tube is an audio-frequency power triode intended for applications where outputs of 10 watts or less are required, and where it is desirable to operate with relatively low plate voltages.

BASE, SOCKET AND MOUNTING

This tube employs a standard four-pin thrust type base suitable for use in a Western Electric 143B or similar socket. The base is equipped with a bayonet pin so that the tube may also be used in a Western Electric 100M or similar socket.

It may be mounted in either a vertical or horizontal position although the vertical position is preferable. If mounted in the horizontal position the arrangement should be such that the plane through the legs of the filament is vertical.

FILAMENT RATING

Filament voltage 5.0 volts, A.C. or D.C.
Nominal filament current 1.2 amperes

The filament of this tube is designed to operate on a voltage basis and it should be operated as near the rated voltage as possible.

OPERATING CONDITIONS

The tube should be operated at such plate and grid voltages that the plate current does not exceed 100 milliamperes.

Recommended and maximum operating conditions are given in the table below.

TABLE

	Plate Voltage	Grid Voltage*	Nominal Plate Current Milliamperes
Recommended Conditions	200	-33	77
		-45	30
	250	-36	74
		-57	22
	300	-60	66
		-70	33
Maximum Conditions	400	-86	68
		-98	19
	450	-100	60

* These voltages apply for operation with A.C. on the filament. With D.C. voltage applied to the filament equivalent operating conditions will be obtained with approximately 3.5 volts less grid bias measured from the negative end of the filament.

PATENT 2796011-100227

300B-6

PRINTED IN U.S.A.

sortie détermine au moins 80 % des performances de l'amplificateur.

Utilisé sous 350 V de tension plaque, le 300 B travaille ici avec une polarisation de -60 V environ et un courant plaque de 60 à 64 mA dépendant aussi des caractéristiques et des dispersions par rapport aux caractéristiques théoriques.

Etage d'entrée

Ce n'est pas, comme supposé, un tube triode, mais un tube pentode, un 6SJ7 qui servira en entrée et attaque du 300 B. Comme on le voit sur la figure 1, le 300 B produisant des harmoniques pairs prédominants, la combinaison de deux triodes très linéaires peut donner un ensemble produisant trop d'harmoniques pairs, agréables à l'écoute mais sans doute moins « hifi ».

Ici, la combinaison 6SJ7/300 B, aux caractéristiques opposées sur ce point de vue, permet de retrouver sur le secondaire du transformateur de sortie un bon équilibre des harmoniques, s'étendant jusqu'aux rangs les plus élevés. Une telle performance n'est que rarement obtenue sur les amplificateurs transistorisés, d'autant plus que cet amplificateur à tube est dépourvu de tout circuit de contre réaction. Le tube 6SJ7 n'est pas en réalité le tube préféré de M. Anzaï, mais c'est le tube américain 310A, qui est par contre difficile à se procurer en France. L'avantage du 310A par rapport au 6SJ7 réside en une meilleure linéarité des courbes de plaque (fig.10), et une meilleure qualité subjective. Mais on peut aussi remplacer le 6SJ7 par une 5693 (série militaire professionnelle)

Subjectivement parlant les principales différences entre les

Fig 7 : Caractéristiques notice du 300 B.

**TYPICAL OPERATING CONDITIONS.
AUDIO FREQUENCY.**

Class A Amplifier.

Anode voltage V	Grid voltage V	Anode current mA	Load resistance Ω	Power output W	Second harmonic db
200	-42	30	2000	3.0	20
200	-39	40	2500	2.6	26
250	-55	30	2000	4.9	18
250	-52	40	3000	4.0	26
250	-50	50	2500	4.4	26
250	-48	60	2000	4.7	26
250	-48	60	2700	4.1	30
250	-45	80	1500	5.0	26
300	-65	40	2500	6.7	20
300	-63	50	2000	7.2	21
300	-63	50	3000	6.1	26
300	-61	60	2400	6.6	26
300	-58	80	1700	7.5	26
350	-76	50	3600	7.8	26
350	-74	60	2000	10.2	21
350	-74	60	3000	8.3	26
350	-74	60	4000	7.0	30
350	-71	80	2200	9.6	26
400	-91	40	5000	8.4	26
400	-89	50	3000	11.5	21
400	-89	50	4000	9.4	25
400	-87	60	3500	10.5	26
400	-84	80	2500	12.5	25
*450	-104	40	6000	9.5	26
*450	-102	50	5000	10.7	27
*450	-100	60	4000	12.5	26
*450	-100	60	5500	10.1	30
*450	-97	80	2000	17.8	21
*450	-97	80	3000	14.6	26
*450	-97	80	4500	11.5	31

* Maximum operating conditions.

Fig 8 : Conditions d'utilisation.

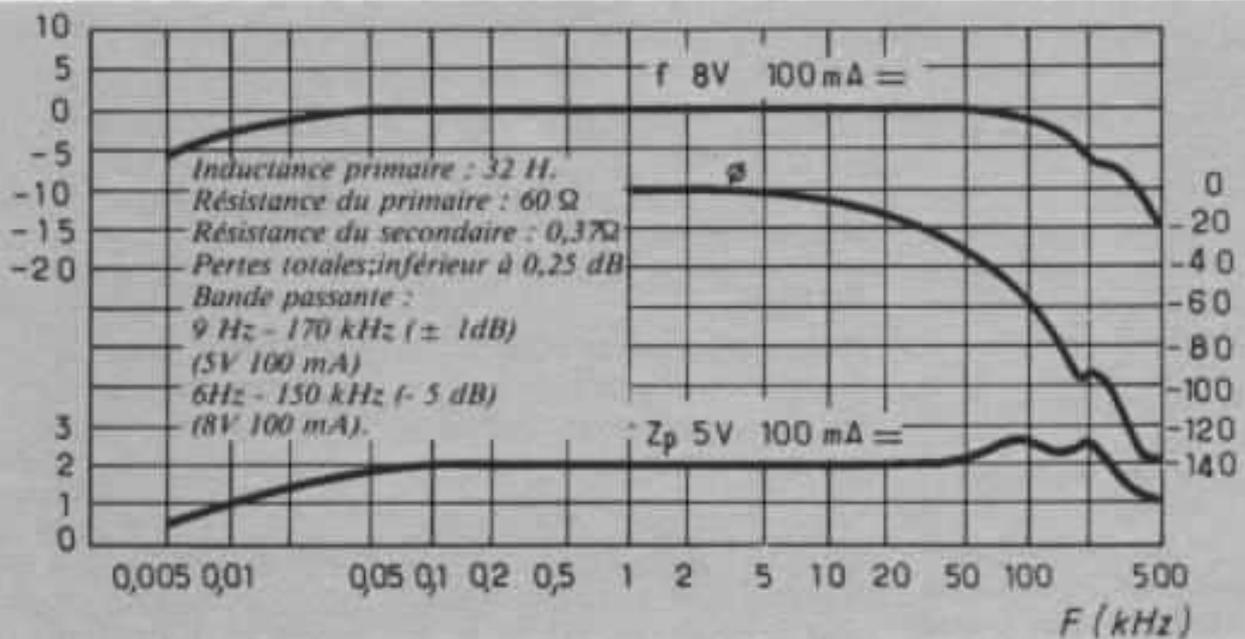


Fig 9 : Transformateur de sortie Zalka 50 W à 40 Hz.

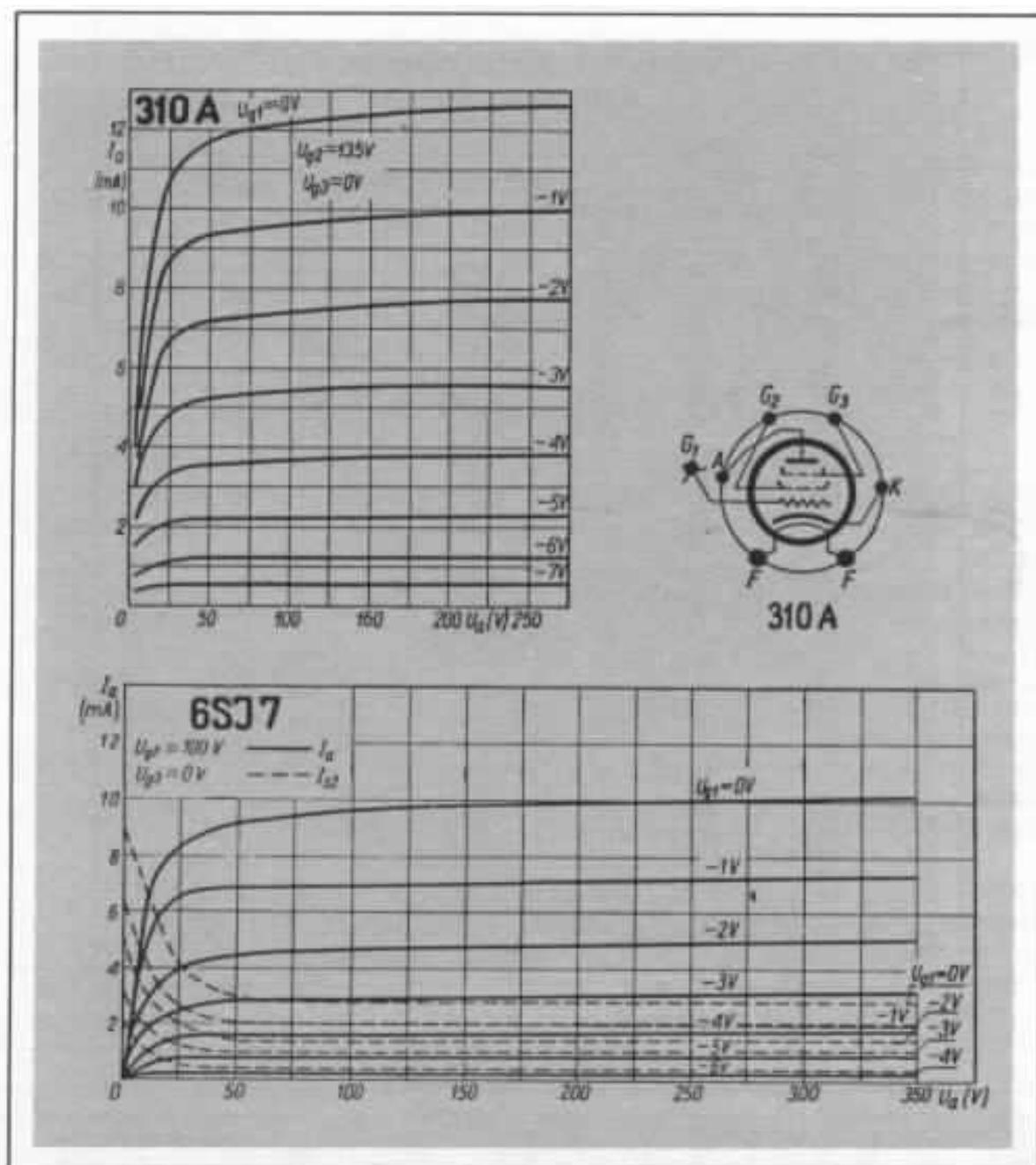


Fig 10 : Différences apportées par le 310 A par rapport au 6SJ7.

tubes 6SJ7, 5693 et 310A sont :

- Son plus dur sur la 5693, comparé à la 6SJ7. Ceci provient certainement d'une question de caractéristique d'émission de la cathode du tube professionnel 5693 qui est donné pour 8000 à 10 000 heures de fonctionnement.
- Légèrement plus de distorsion subjective sur le 6SJ7 comparé à la 310 A. Mais reste une bonne combinaison avec le 300 B.
- Bas médium et médium plus dynamiques et « en avant » sur le

310 A. Noter que le brochage et que les embases de ces tubes sont différents.

- Support 6 broches pour le 310 A (standard américain).
- Support octal américain pour le 310 A.

Suivant les origines des tubes, les différences sont très nettes à l'écoute, pour le 310 A comme pour le 6SJ7. Le 310 A ne se trouve que dans les marques Western Electric et STC (équivalent 4310A), tandis que le 6SJ7

existe dans de nombreuses marques et origines : RCA, GE, Sylvania, Raythéon, Tung-sol, Ken-Rad, etc.

Le schéma, figure II est simple et tout à fait commun. Une valve de redressement est utilisée, car M. Anzai l'a préférée aux diodes silicium, qui, d'après lui, émettent de nombreux « clics » très difficiles à supprimer, même après un filtrage en « pi » soigné. Ici la self de filtrage est de 20 H, valeur importante et efficace.

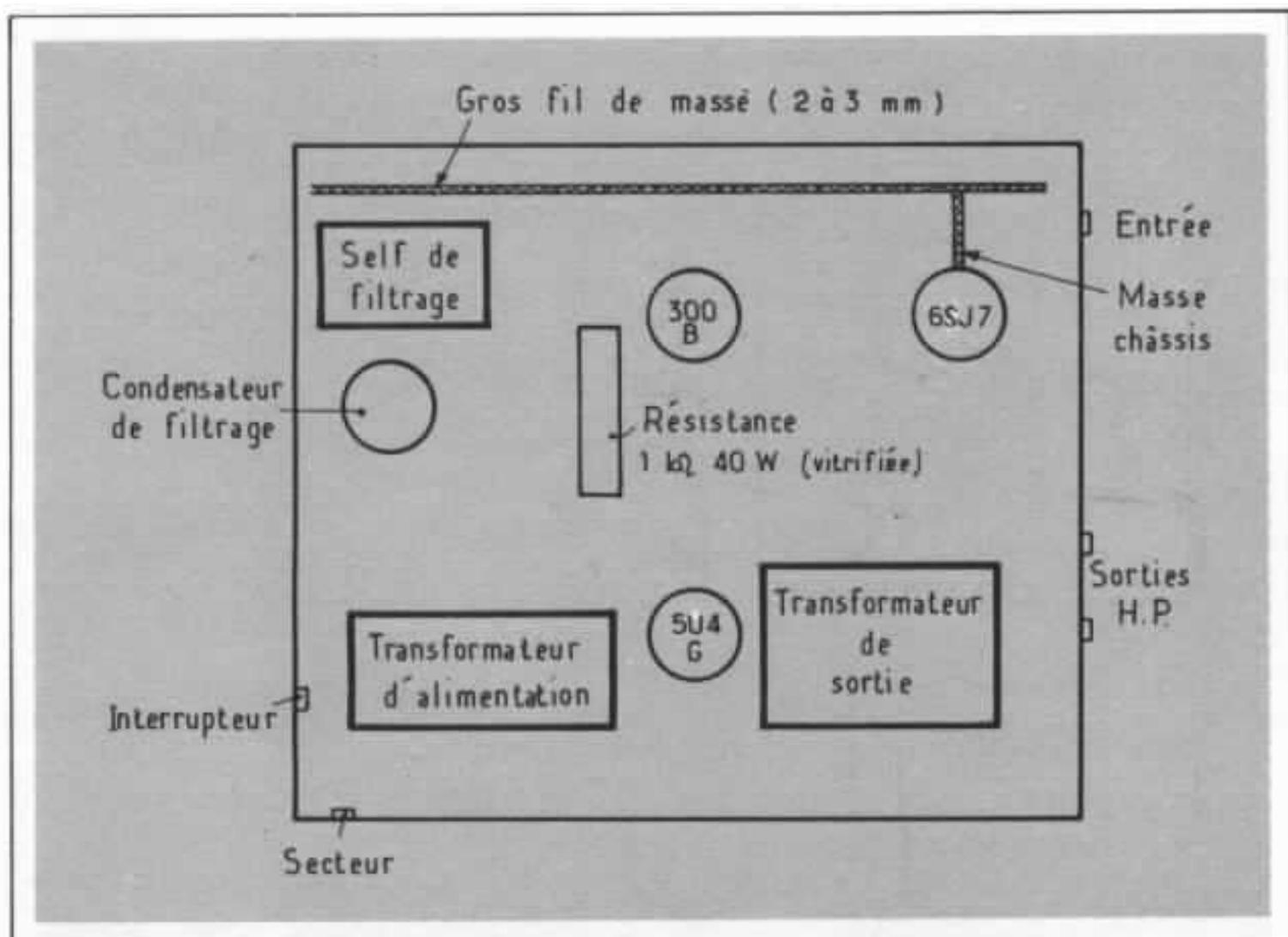


Fig 12 : Implantation sur le châssis.

Retenons l'attention des lecteurs sur l'effet subjectif d'une valve par rapport à une autre valve ou un pont de diodes en silicium. Certaines valves et 99% des diodes au silicium, provoquent un son désagréable, situé en général dans l'aigu : impression de dureté, de «pointe» de «bosse», de distorsion.

Sur cet amplificateur, et malgré la self de filtrage de valeur élevée (20 H), ces effets sont très nets lorsque l'on passe d'une valve à une autre. Cet effet a été oublié, toutefois, les concepteurs d'amplificateurs à tubes des années 30 le connaissait très bien. Du point de vue purement électrique, il faut bien sûr tenir compte des différences existant entre deux redresseurs à vide :

résistance interne, courant filament, surface de plaque, capacité parasite Cf/P. Malgré tout, en compensant les différences, on peut retrouver le son caractéristique à une certaine valve de redressement : même si cela reste théoriquement mal expliqué, on peut décrire l'effet subjectif provoqué par quelques valves connues.

5U4 G : (utilisé dans le présent circuit) : médium excellent, grave « enflé » aigu atténué mais sans autre défaut gênant.

GZ 32 : moins dynamique que la 5U4 G (différences des possibilités maximum de redressement, courant filament, chauffage indirect), mais tube donnant une très bonne qualité de reproduc-

tion avec très peu de défauts sensibles.

GZ 34 : tube plus courant. Reconnu par plusieurs oreilles averties comme inférieur à la GZ 32 : aigu moins fin.

GZ 37 : Tube assez rare en France, mais proche, du point de vue performance au tube AZ 50 (chauffage direct). Tube à chauffage indirect et utilisant de grosses cathodes qui nécessitent un temps de chauffage de plus de 22 secondes, ce qui est en fait un avantage car la haute tension monte très lentement, et non brusquement (comme cela se présente pour les diodes silicium). Aigu plus fin, mais légèrement plus dur que sur la GZ 32 ou la 5U4G. Par contre la faible résis-

tance interne donne un grave plus ferme et plus vrai.

WE 274 B : Tube américain difficile à se procurer en très bon état (état du vide, de l'émission filament). Construction proche du 5U4 G. Du point de vue subjectif, il réunit les avantages des tubes

GZ 32, 5U4 G et GZ 37, cela pratiquement sans leurs défauts.

Ajoutons que du point de vue brochage et support, les tubes WE 274 B, GZ 32, 5U4 G sont identiques, à part le courant filament et le chauffage direct pour les 5U4 G et WE 274 B.

Il est certain que de telles considérations subjectives pourraient faire rire un technicien, mais de très nombreux essais, comparaisons, compensations de caractéristiques, écoutes subjectives sont là pour confirmer l'importance d'une valve dans la conception d'un amplificateur à tube. Ce même cas se retrouve, sur un préamplificateur transistorisé quelque soit l'alimentation - régulée, batteries, accumulateurs en tampon sur de grosses capacités - il est possible de reconnaître à l'écoute la dureté que provoque un pont au silicium, ceci en coupant ou en mettant en circuit ces diodes.

Disposition des composants dans le châssis

Il est important d'utiliser des liaisons courtes entre la grille

d'entrée 6SJ7 et la prise Cinch d'entrée. Dans ce cas, un fil non blindé ne peut apporter d'ennuis de ronflement. Par contre, il faut câbler en gros fil et utiliser un fil de masse d'au moins 2 à 3 mm² de section.

Composants

R₁ : 470 kΩ couche carbone 2 W.

R₂ : 600Ω 2 W film métallique, capuchon et sorties en cuivre.

R₃ : 110 kΩ 3 résistances de 330 kΩ en parallèle.

R₄ : 220 kΩ film métallique 1W (genre identique à R₂)

R₅ : 30 kΩ 3 W (si possible plusieurs résistances à couches de carbone en parallèle).

R₆ : 100 kΩ 5W : carbone aggloméré.

R₇ : 1 kΩ 30W : vitrifiée ou encore (préférable) cimentées anti-selfiques.

C₁ : 100 μF 6 V tantale polarisé.

C₂ : 10 μF 100V mylar non polarisé.

C₃ : 0,22 μF 400 V ITT/PMC Polycarbonate.

C₄-C₅ : 2 x 47 μF 500 V Electrochimique.

C₆ : 100 μF 100 V. Electrochimique. A remplacer si possible par 5 x 10 μF 200V mylar non polarisé + 50 μF 100V Electrochimique.

Caractéristiques :

- Bande passante : 20 - 20000 Hz - 3 dB

- Taux de distorsion : 0,2% à 0,6 W.

- Taux de distorsion : 1% à 5 W

- Facteur d'amortissement : 1

- Sensibilité d'entrée : 0,6 V pour 5 W de sortie.

Ecoute

Bien qu'excellent et très agréable à l'écoute il peut aisément être modifié dans un style Hiraga/Tanaka, comme ce sera décrit dans le prochain numéro, en plus de l'amplificateur classe A 20W si attendu par de nombreux lecteurs.

Mais soyons exacts : un bon amplificateur à tubes, même de faible puissance, bien étudié, calculé, utilisant de bons composants auparavant « écoutés » un par un, peut, grâce à quelques « signolages » surpasser de nombreux appareils transistorisés de prix élevé ou même de très bonne réputation. Un tel amplificateur ne peut cependant convenir qu'à une enceinte de bon rendement. Il convient par contre *parfaitement* en médium-aigu, là où seront ressentis tous les avantages d'un tube triode de la plus haute qualité existante. Ne serait-ce pas, pour ce genre d'utilisation une approche plus sûre et rapide vers un très grand degré de fidélité plutôt que d'essayer un push-pull de pentodes, qui bien que bon, ne pourra que très difficilement dépasser en qualité sonore (et non en puissance de sortie) un amplificateur mono-triode bien étudié.

**Page non
disponible**

Influence des circuits d'alimentation

1- Le cas du préamplificateur Kanéda

Guy Marec

Les circuits d'alimentation en électronique audio prennent une importance de plus en plus grande. Sophistication superflue, nous ne le pensons pas, cela même pour les préamplificateurs. L'article de Guy Marec, apporte de l'eau à notre moulin.

Intrigué par les différences subjectives perçues avec des alimentations régulées ou non, il entreprit un travail d'investigation rigoureux. Voici ses résultats, ils prouvent que des corrélations entre phénomènes subjectifs et objectifs peuvent être établies, ce qui est somme toute très encourageant.

Les résultats subjectifs obtenus avec le préamplificateur Kanéda sont très dépendants du circuit d'alimentation avec lequel il est utilisé. L'alimentation non régulée donne incontestablement plus de dynamique, surtout dans le grave, et plus de naturel dans la reproduction. Il semble qu'elle permette de restituer plus facilement les « petits signaux » souvent issus de sons réverbérés qui recréent la dimension et l'ambiance d'une salle de concert. Le condensateur de sortie de l'alimentation non régulée a beaucoup d'importance : un

circuit réalisé avec plusieurs condensateurs électrochimiques en parallèle donne subjectivement plus d'extrême aigu qu'un circuit réalisé avec un seul condensateur.

L'alimentation régulée apporte plus de définition et de brillant en aigu. Cette définition devient même de la dureté et de la coloration sur certains programmes musicaux comportant beaucoup de dynamique en aigu.

Il était donc intéressant de voir si des tests en laboratoire mettaient en évidence des différences

mesurables entre plusieurs circuits d'alimentation.

Cette étude se limite à un test, par des moyens simples, du comportement des circuits d'alimentation du préamplificateur Kanéda dans le registre aigu. L'étude de l'influence de l'alimentation sur la dynamique n'est pas abordée.

Circuits comparés

Trois circuits d'alimentation ont été comparés :

— Une alimentation non régulée conforme au schéma de l'Audio-

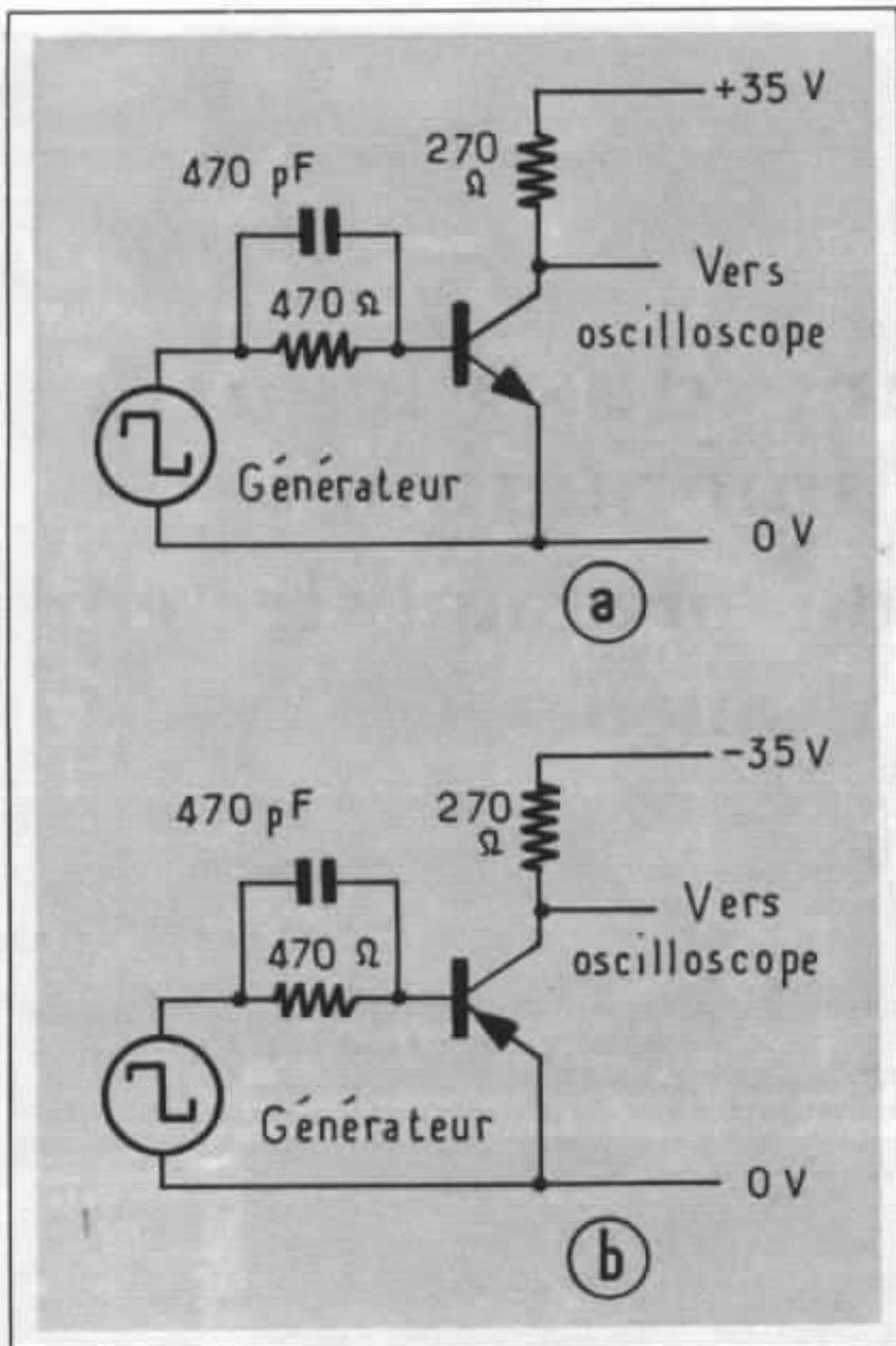


Fig. 1 A Circuit de charge des alimentations + 35 volts
 Fig. 1 B Circuit de charge des alimentations - 35 Volts

phile n° 5 page 10 avec les deux résistances de 27 Ω non représentées sur le schéma. Le condensateur électrochimique de sortie a une valeur de 47 000 μF (39 000 μF n'est pas une valeur courante en Europe). Le modèle choisi est un Felsic CO38 40/48 V.

— La même alimentation mais avec trois condensateurs de 15 000 μF en parallèle sur chaque sortie, ce qui porte à environ

45 000 μF la capacité de sortie. Ce circuit donne subjectivement plus d'extrême aigu.

— Une alimentation régulée conforme au schéma de l'Audio-ophile n° 3 page 16. Les transistors montés sont des transistors européens de caractéristiques équivalentes. Plusieurs types ont été essayés, tous ont donné les mêmes résultats. Ce circuit donne subjectivement plus de

définition en aigu mais devient dur et même coloré avec certaines modulations.

La réalisation de cette alimentation pose beaucoup de problèmes. Le circuit intégré 709 qui constitue le cœur du circuit est en effet « très capricieux » et facilement instable en haute fréquence. Il faut disposer d'un oscilloscope à large bande et d'une sonde bien adaptée pour contrôler le circuit.

Méthode de comparaison

Les circuits d'alimentation ont été comparés en leur faisant débiter des impulsions de courant rectangulaires d'environ 90 mA crête à différentes fréquences (1 kHz, 10 kHz et 100 kHz) suivant les schémas des figures 1A et 1B.

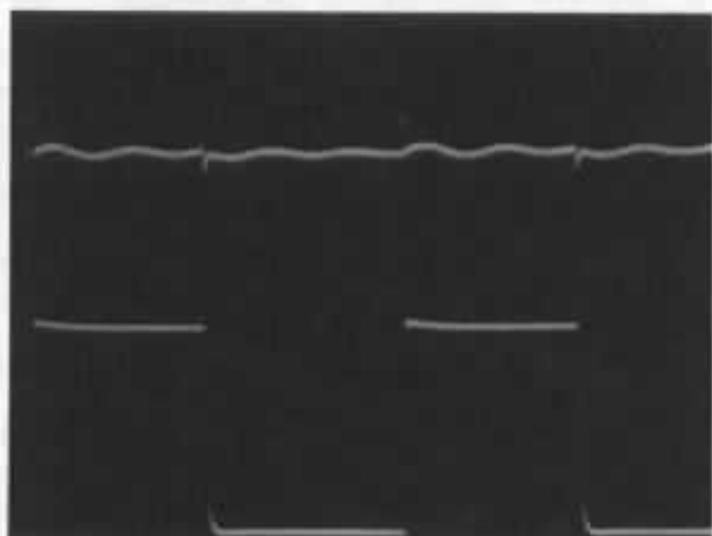
Le débit de 90 mA correspond à la charge maximum de l'alimentation régulée.

Le signal sur le collecteur du transistor de charge a été pris comme repère et apparaît sur la trace inférieure de chaque oscillogramme. L'alimentation débite lorsque la tension collecteur diminue c'est-à-dire lorsque la trace est près du bord inférieur de l'oscillogramme. Les alimentations ont été comparées en observant et photographiant les fluctuations de la tension de sortie. Pour l'alimentation régulée le signal de sortie de l'amplificateur, qui est très significatif du comportement de la boucle de régulation, a aussi été observé et photographié.

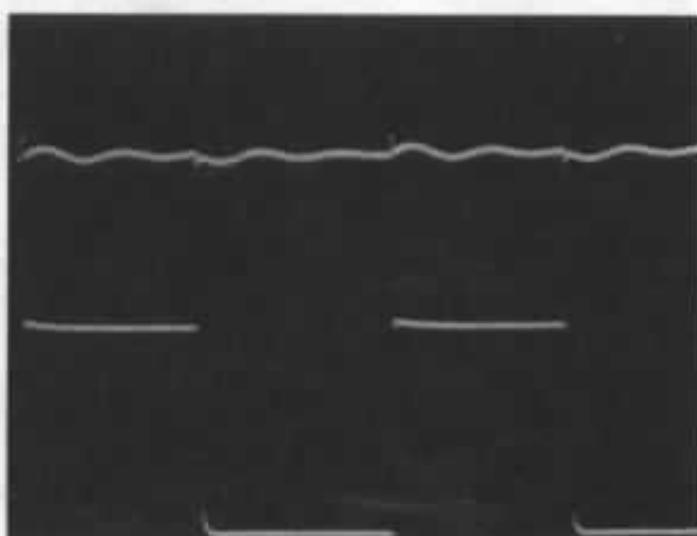
Pour simplifier, seules les mesures des alimentations positives sont publiées.

OSCILLOGRAMMES DES ALIMENTATIONS NON REGULÉES. (Voir Fig 2.)

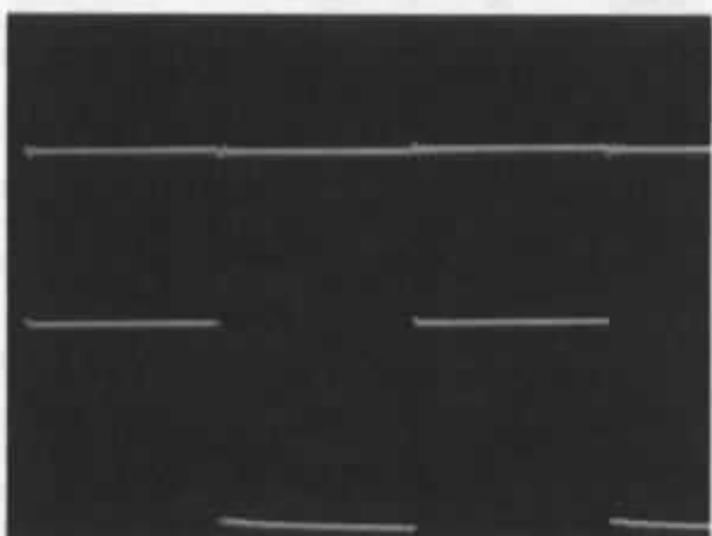
A 100 kilohertz une ondulation d'une fréquence d'environ 400 kilohertz est très visible. Elle correspond à une résonance des selfs, des condensateurs de fil-



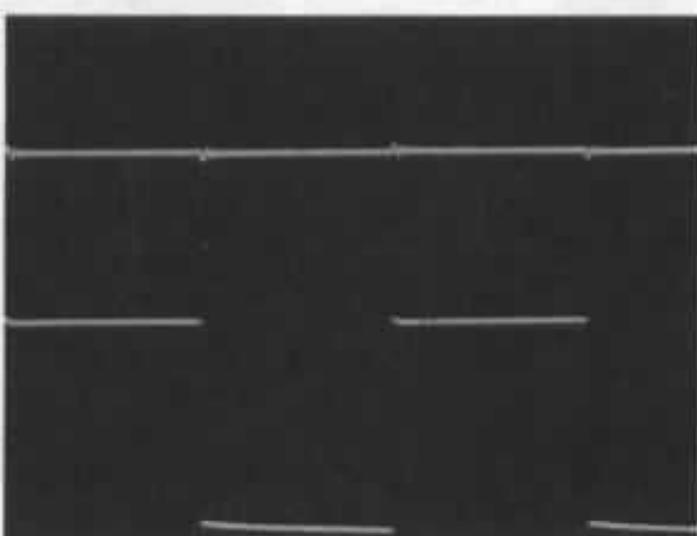
100 kHz 47000 μ F. Sortie Alimentation 50 mV/cm



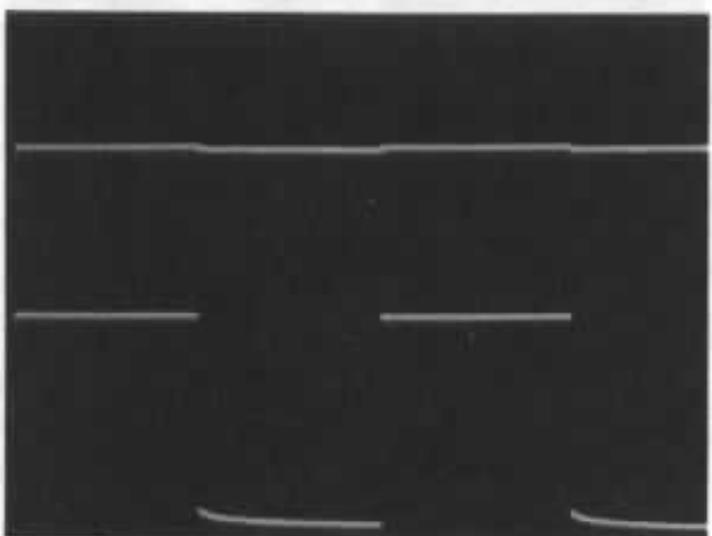
100 kHz 3 x 15000 μ F. Sortie Alimentation 50 mV/cm



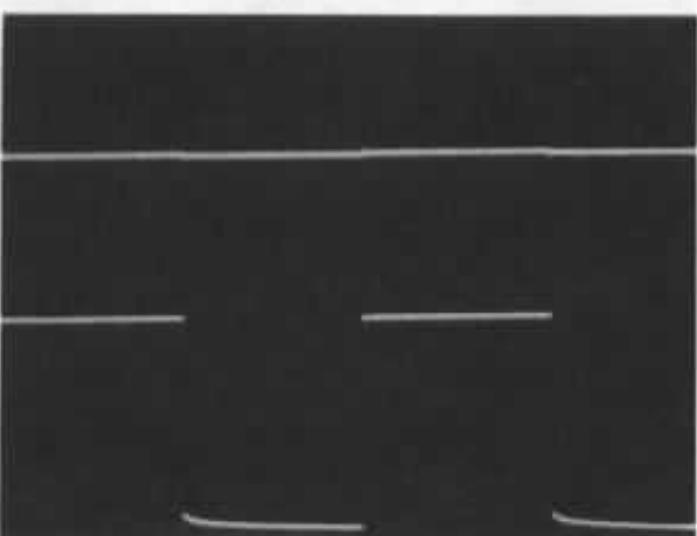
10 kHz 47000 μ F. Sortie Alimentation 50 mV/cm



10 kHz 3 x 15.000 μ F. Sortie Alimentation 50 mV/cm

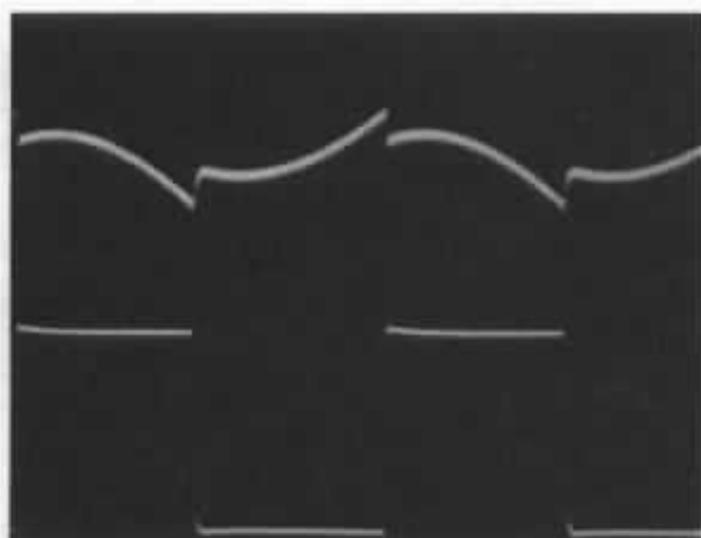


1 kHz 47000 μ F. Sortie Alimentation 50 mV/cm

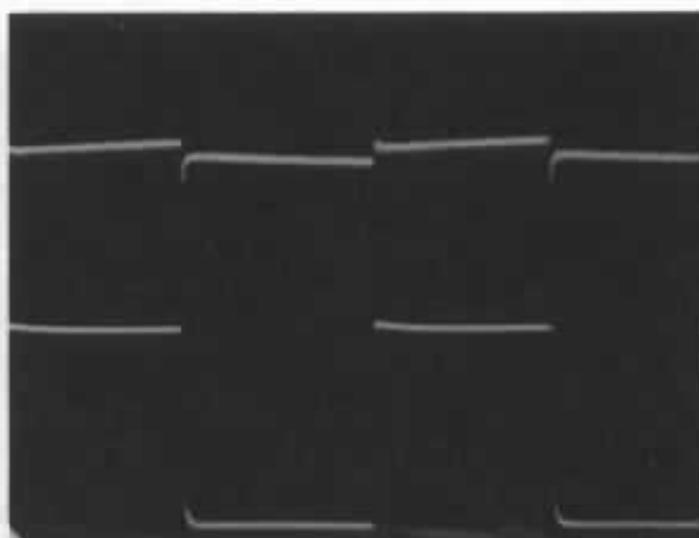


1 kHz 3 x 15000 μ F. Sortie Alimentation 50 mV/cm

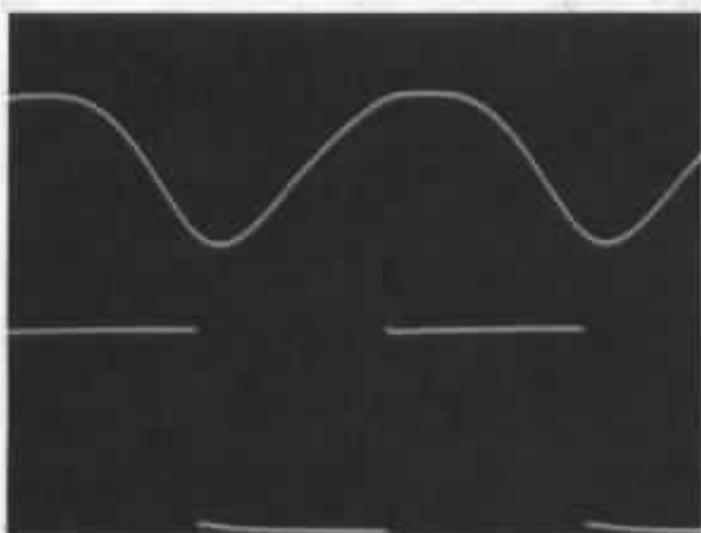
Fig. 2 Alimentations non régulées



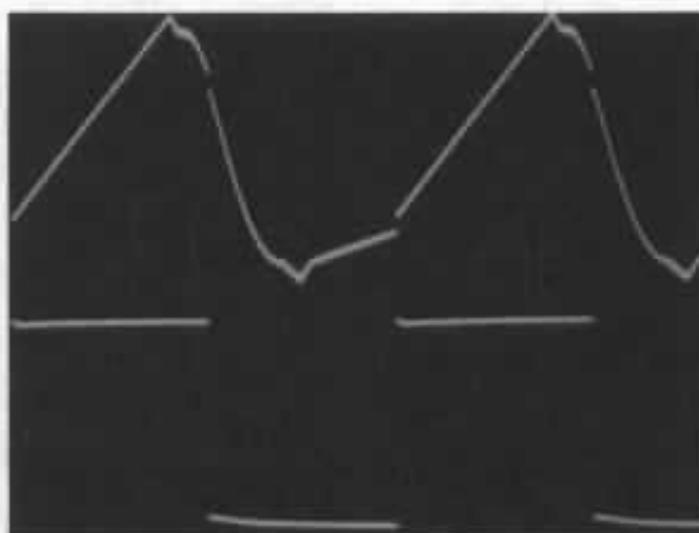
100 kHz Sortie Amplificateur 50 mV/cm



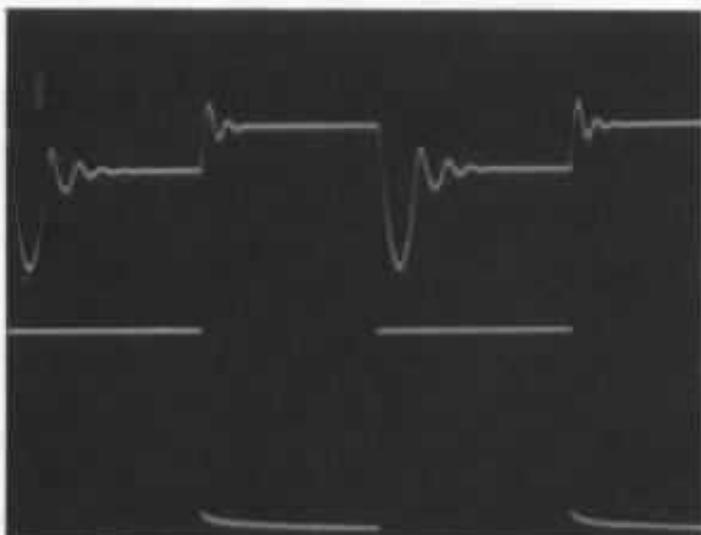
100 kHz Sortie Alimentation 50 mV/cm



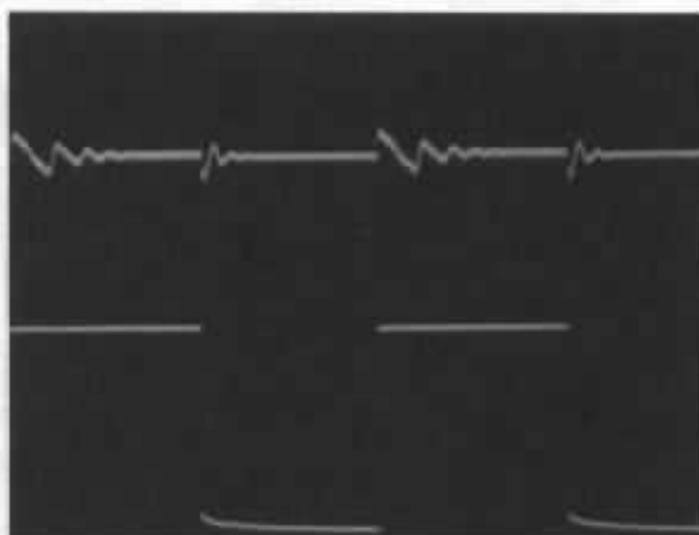
10 kHz Sortie Amplificateur 5 volts/cm



10 kHz Sortie Alimentation 50 mV/cm



1 kHz Sortie Amplificateur 1 volt/cm



1 kHz Sortie Alimentation 50 mV/cm

Fig. 3 Alimentation régulée. Circuit d'origine. Les tracés inférieurs correspondent à la sortie collecteur du transistor de charge (10 V/cm).

trage et du câblage avec le condensateur de $2,2 \mu\text{F}$ mis en parallèle.

Les impulsions transitoires de commutation sont un peu atténuées par la mise en parallèle de trois condensateurs en sortie qui atténue aussi la fluctuation de la tension de sortie. L'atténuation de cette fluctuation est beaucoup plus visible sur les oscillogrammes à 10 kHz et 1 kHz.

L'augmentation du nombre de condensateurs en sortie améliore la réponse transitoire de l'alimentation. C'est peut être l'origine d'un meilleur comportement subjectif en aigu. Dans la plage de fréquence considérée l'impédance interne des deux circuits varie peu sauf vers 400 kHz. Le comportement de ces deux alimentations est très bon et va nous servir de référence de comparaison.

OSCILLOGRAMMES DE L'ALIMENTATION REGULÉE. Voir Fig 3

A 100 kHz la fluctuation de la tension de sortie et les transitoires de commutation sont beaucoup plus importants. L'alimentation «répond» moins bien que les non régulées. Le signal de sortie de l'amplificateur de l'alimentation qui devrait être rectangulaire est très déformé.

A 10 kHz les oscillogrammes mettent en évidence d'une part une rotation de phase importante qui entraîne une résonance de la boucle de régulation et d'autre part une saturation de l'amplificateur. Le signal de sortie de l'amplificateur est une sinusoïde déformée et aplatie en haut. En faisant varier la fréquence de commutation entre 5 kHz et 20 kHz on peut observer une accentuation très nette du déphasage et de la saturation.

A 1 kHz la résonance de la boucle de régulation est toujours visible. Il n'y a cependant pas saturation de l'amplificateur.

Cette anomalie de fonctionnement de la boucle de régulation

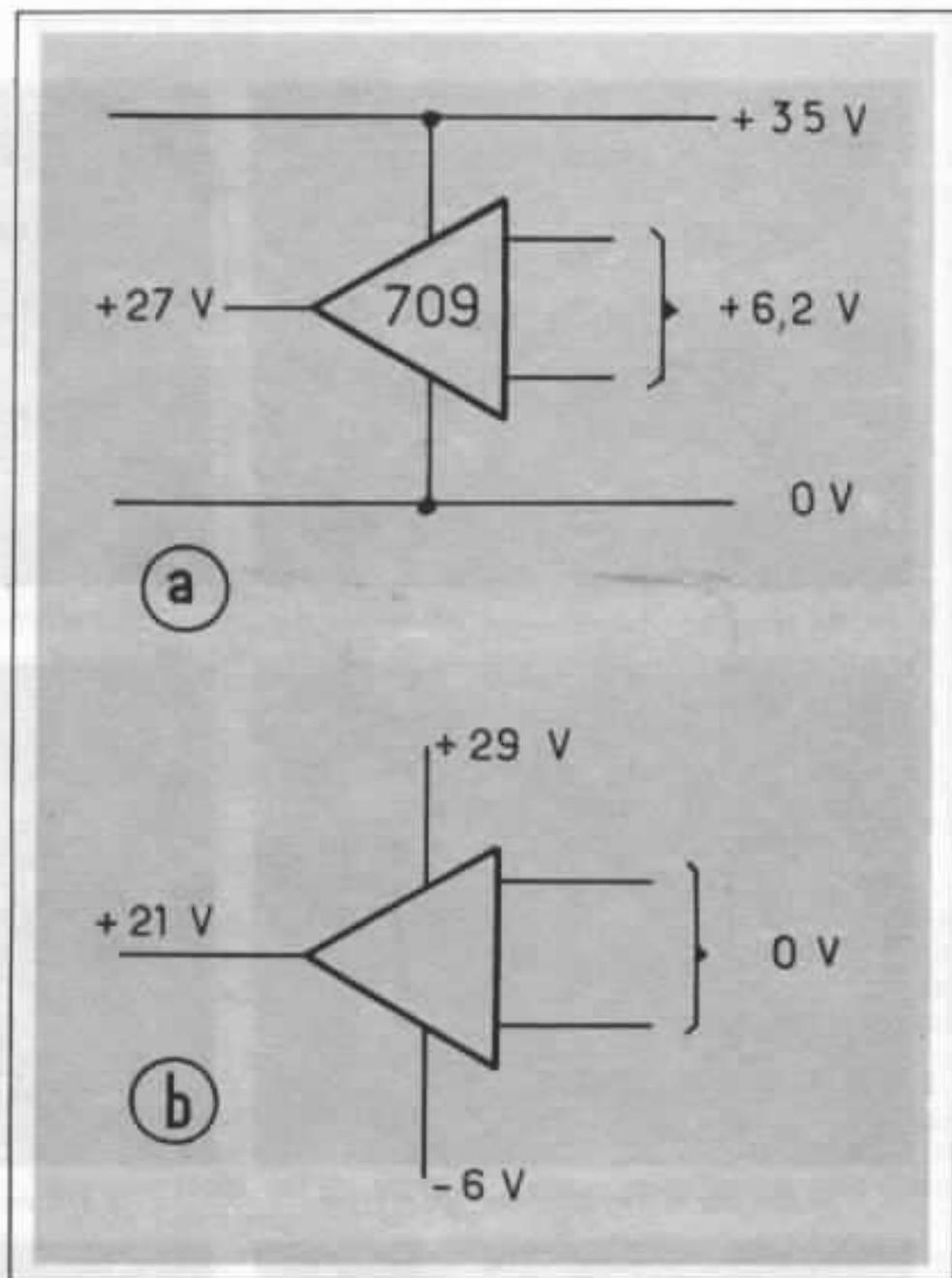


Fig. 4 A Tension de fonctionnement de l'amplificateur de l'alimentation régulée.

Fig. 4 B Tensions équivalentes en alimentant l'amplificateur en + et -

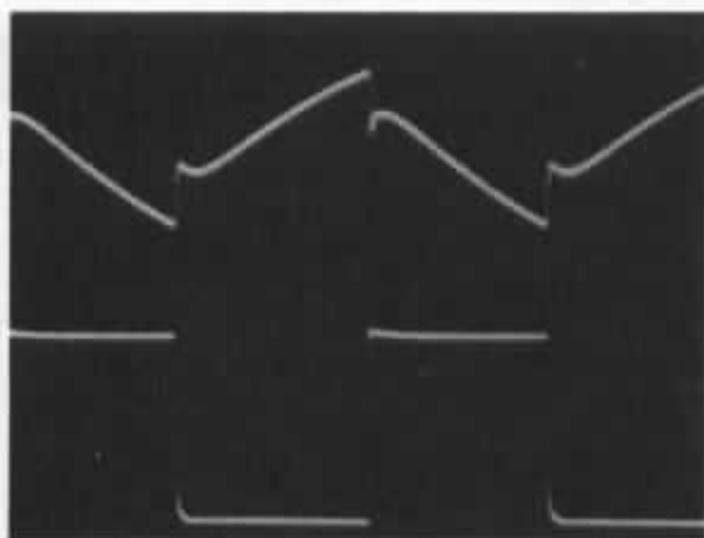
entraîne une augmentation de l'impédance interne du circuit précisément dans le registre de fréquence où il semble apporter plus de définition, de dureté ou de coloration suivant le programme musical écouté. C'est donc très vraisemblablement l'origine de l'impression subjective ressentie.

Ce fonctionnement anormal de l'alimentation régulée a deux origines :

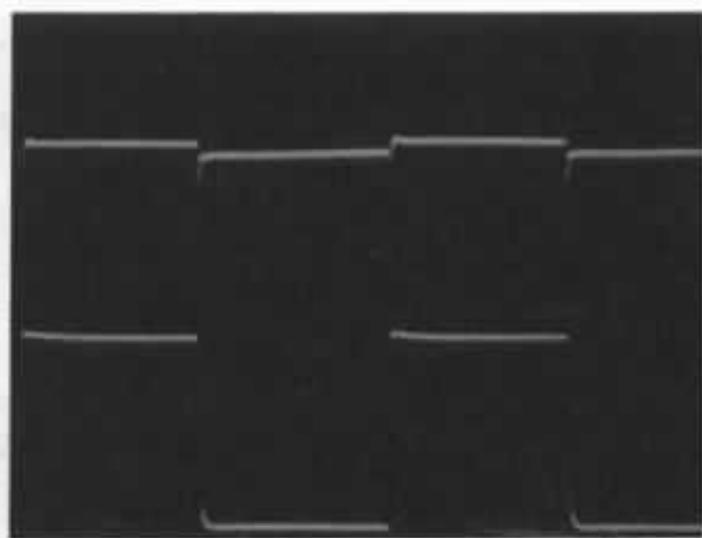
- d'une part, la polarisation très

déséquilibrée de l'amplificateur (voir Fig 4) le rend très facilement saturable lorsque la tension de sortie augmente. Cette saturation est peut-être à l'origine du minimum de tension d'alimentation au dessous duquel il ne faut pas descendre pour conserver les qualités très subjectives du préamplificateur Kanéda.

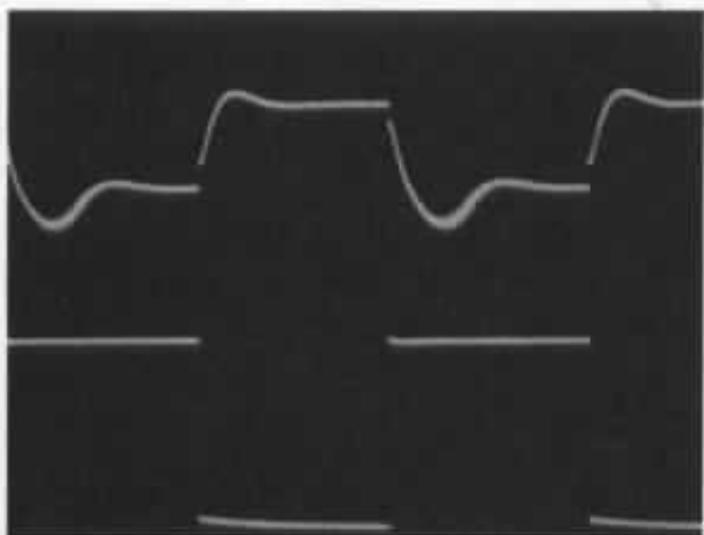
- d'autre part, la correction de fréquence de la boucle qui provoque une rotation de phase trop rapide. Ce déphasage entraîne



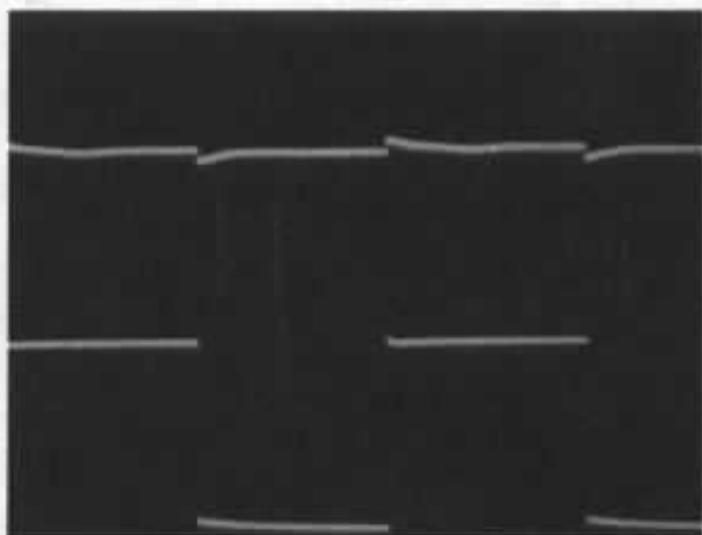
100 kHz Sortie Amplificateur 200 mV/cm



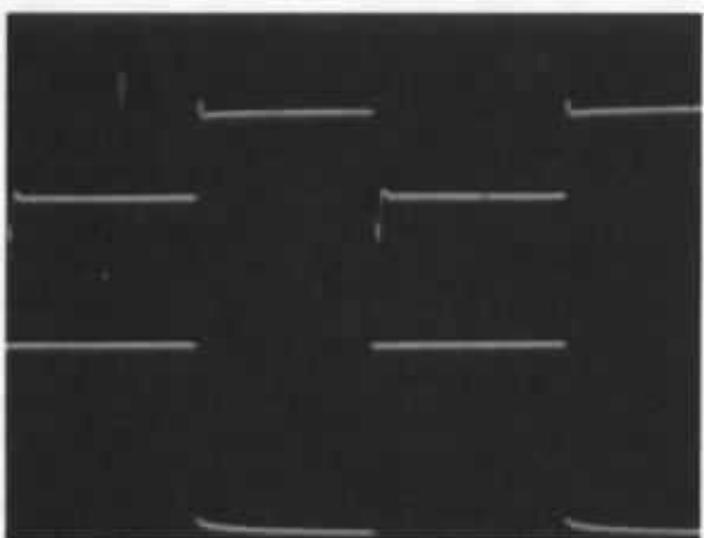
100 kHz Sortie Alimentation 50 mV/cm



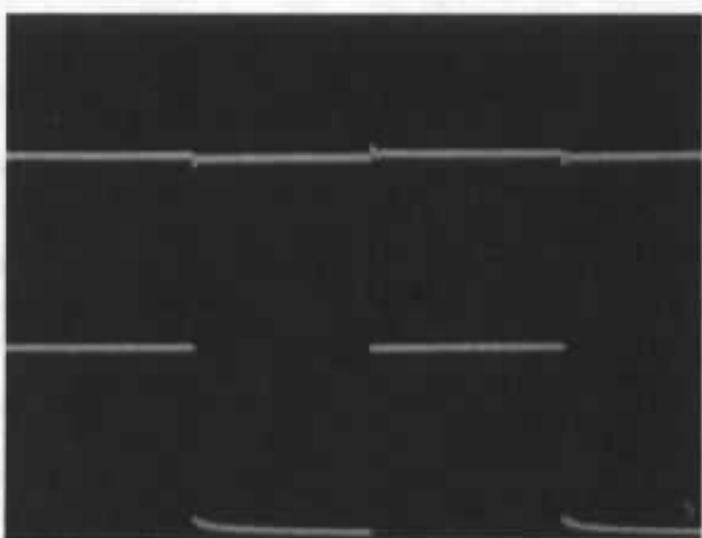
10 kHz Sortie Amplificateur 500 mV/cm



10 kHz Sortie Alimentation 50 mV/cm



1 kHz Sortie Amplificateur 500 mV/cm



1 kHz Sortie Alimentation 50 mV/cm

Fig. 5 Première modification de l'alimentation régulée. Les traces inférieures correspondent à la sortie collecteur du transistor de charge (10 V/cm).

une résonance du circuit bouclé d'où une augmentation de la tension de sortie de l'amplificateur qui, suivant la fréquence, peut donc se saturer. Il est bien évident qu'en fonctionnement normal, lors de l'écoute d'un programme musical, l'alimentation est bien moins sollicitée que dans ce test de comparaison très sévère. Il n'en reste pas moins vrai que, même sans saturation, l'impédance de sortie augmente dans le registre aigu et que cela s'entend.

Il était alors intéressant de savoir si la correction des défauts précédents permettrait d'obtenir subjectivement un résultat plus neutre.

PREMIERE MODIFICATION DE L'ALIMENTATION REGULEE

Cette première modification a été faite sur une maquette de laboratoire dans le but de vérifier l'analyse précédente. Elle n'a pas encore été testée subjectivement.

Une amélioration très sensible du fonctionnement «électronique» du circuit peut être obtenue:

- d'une part en utilisant des diodes zéner de 17 à 18 volts (la moitié de la tension de sortie de l'alimentation) ce qui rééquilibre le point de fonctionnement de l'amplificateur. Il est bien entendu nécessaire de remplacer la résistance de 22 K Ω du pont de comparaison par une résistance de 3,9 K Ω .

- d'autre part, en remplaçant le condensateur de 1 nF par 470 pF et celui de 39 pF par 3,9 pF. Attention, cette dernière modification doit être faite avec beaucoup de précaution et contrôlée avec un oscilloscope à large bande (> 50 Mh) équipé d'une sonde bien adaptée. L'amplificateur 709 peut très facilement «accrocher» en haute fréquence suivant le câblage réalisé et les composants utilisés. Les valeurs

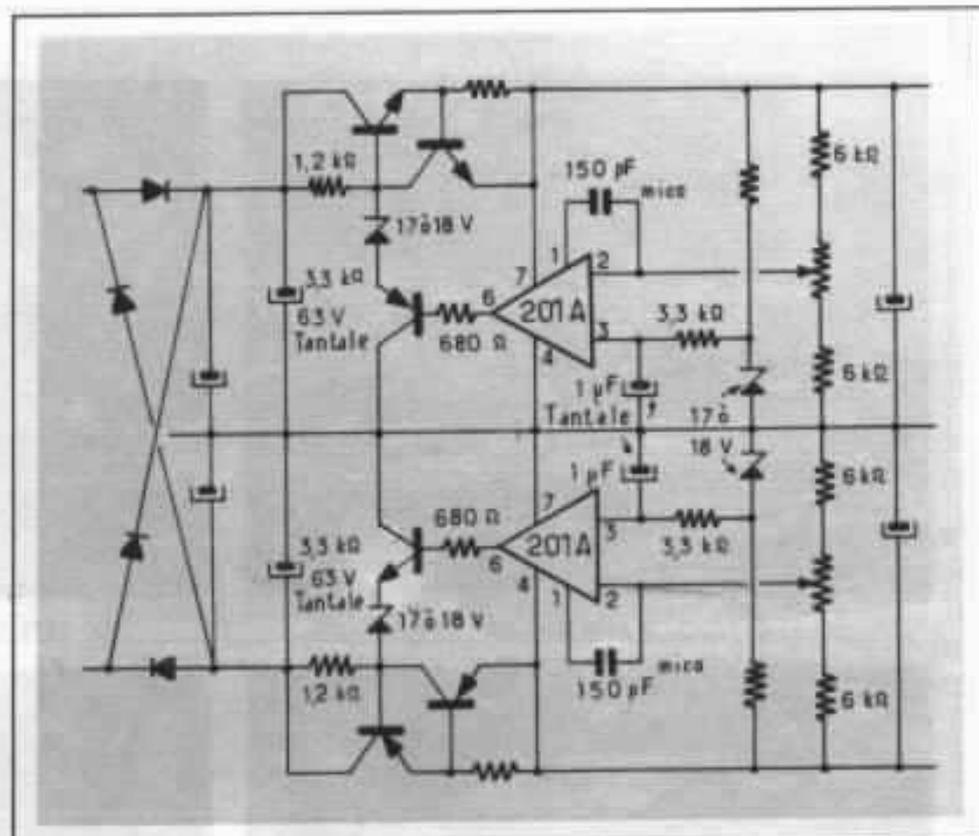


Fig. 6 Principe de la deuxième modification

des condensateurs indiqués peuvent très bien ne pas convenir à toutes les réalisations de ce circuit.

Notes :

1 - Il est préférable de placer en parallèle sur la diode zéner de référence (celle qui est reliée à l'entrée 3 de l'amplificateur) un condensateur au tantale de 1 à 4,7 μ F pour éliminer le bruit de la zéner qui peut être important et éviter un couplage réactif par sa résistance interne.

2 - Une atténuation de la rotation de phase du montage initial peut être obtenue en plaçant entre la sortie de l'alimentation et le curseur du potentiomètre de réglage un condensateur au mica de 200 à 400 pF comme dans l'alimentation proposée pour le filtre Kanéda. Mais ceci n'est qu'un palliatif qui ne corrige pas le fond du problème.

3 - Les «puristes» seront peut-être étonnés du choix d'une diode zéner de tension aussi élevée en diode de référence. Ces

diodes ont en effet des caractéristiques de régulation bien moins bonnes. Ceci n'intervient que dans les fluctuations à long terme de l'alimentation qui ont peu d'importance en audiofréquence. Les oscillogrammes obtenus à la suite de cette première modification sont donnés Fig 5 :

- A 100 kHz les résultats sont déjà améliorés par rapport à la version d'origine. Les fluctuations en sortie sont un peu atténuées et surtout l'amplificateur sollicite beaucoup plus les transistors (attention les oscillogrammes ne sont pas à la même échelle). La différence n'est cependant pas spectaculaire parce que le circuit travaille hors de la zone critique où interviennent les corrections de fréquence.

- A 10 kHz le comportement de l'alimentation est nettement meilleur. Le signal de sortie de l'amplificateur s'apparente à un signal carré. Les «overshoot» sur le signal indiquent cependant une stabilité de la boucle encore

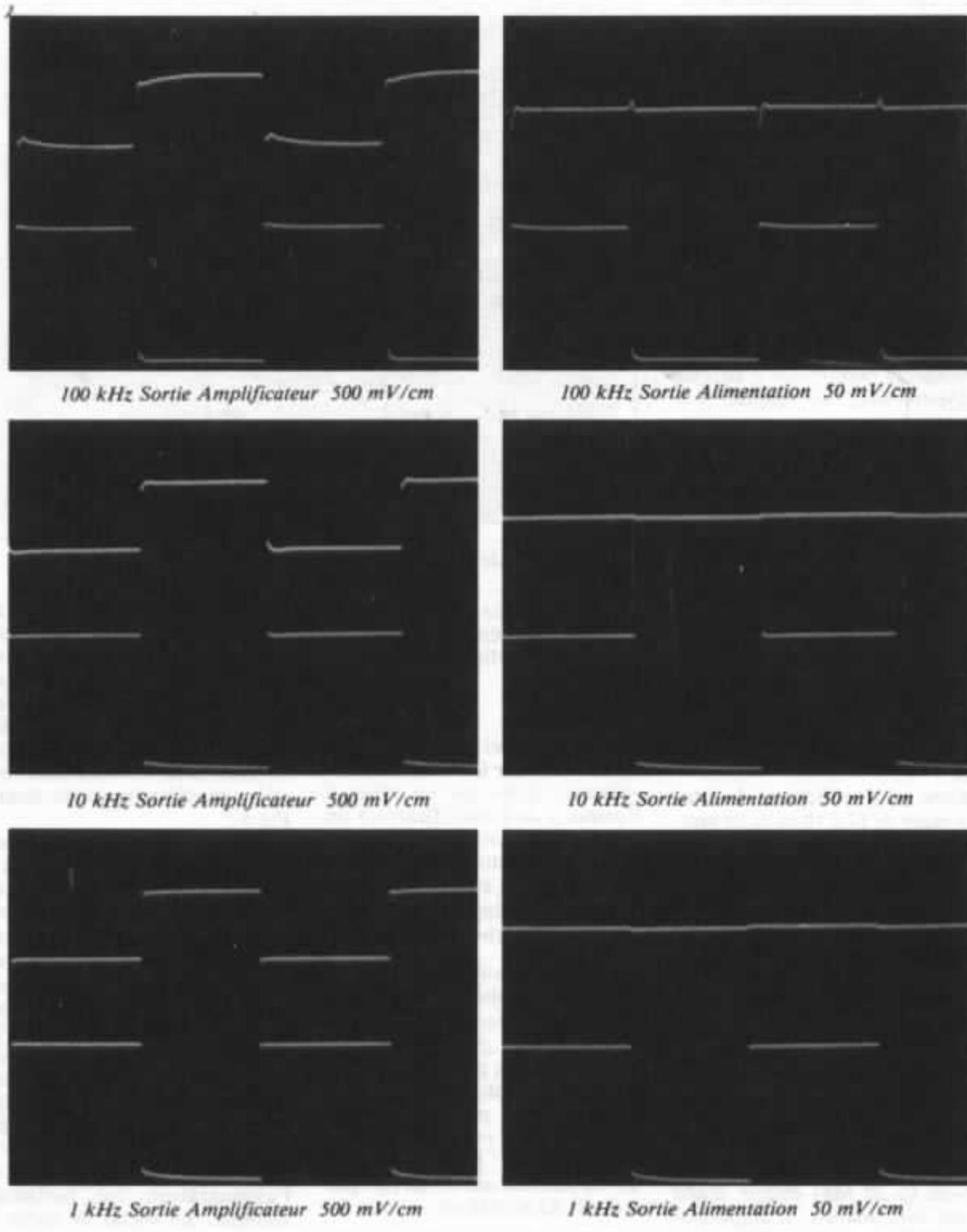


Fig. 7 Deuxième modification de l'alimentation régulée. Les traces inférieures correspondent à la sortie collecteur du transistor de charge (10 V/cm).

un peu précaire (marges de gain et de phases insuffisantes).

Les oscillogrammes à 1 kHz confirment les observations faites à 10 kilohertz.

Une légère amélioration pourrait vraisemblablement être obtenue en ajoutant un condensateur comme indiqué dans la note 2 précédente.

DEUXIEME MODIFICATION DE L'ALIMENTATION REGULEE

Les difficultés de correction de la boucle de régulation réalisée à partir d'un amplificateur 709 conduisant à envisager une autre structure de correction. Ceci aboutit au schéma de principe donné Fig 6 qui a été testé subjectivement.

Le principe global du circuit est inchangé : un double émetteur suiveur est piloté par un amplificateur sur lequel est faite la correction de fréquence. L'amplificateur choisi est un 301 A (il est préférable d'utiliser un 201 A qui accepte une tension de fonctionnement plus élevée) corrigé en « feedforward » c'est-à-dire en court-circuitant en haute-fréquence la première partie à fort gain de l'amplificateur.

Le comportement « électronique » est bon comme le prouvent les oscillogrammes de la Fig. 7. En particulier l'amplificateur sollicite les transistors d'une façon à peu près constante en fonction de la fréquence. Les signaux de sortie de l'alimentation sont moins bons que ceux des alimentations non régulées mais s'en rapprochent sensiblement. Subjectivement cette alimentation est beaucoup plus neutre que sa version d'origine, en particulier les duretés et colorations qui apparaissaient sur les fortes modulations en aigu ont disparu. Elle n'apporte pas le supplément de dynamique et de définition des modèles non régulés mais permet une reproduction propre.

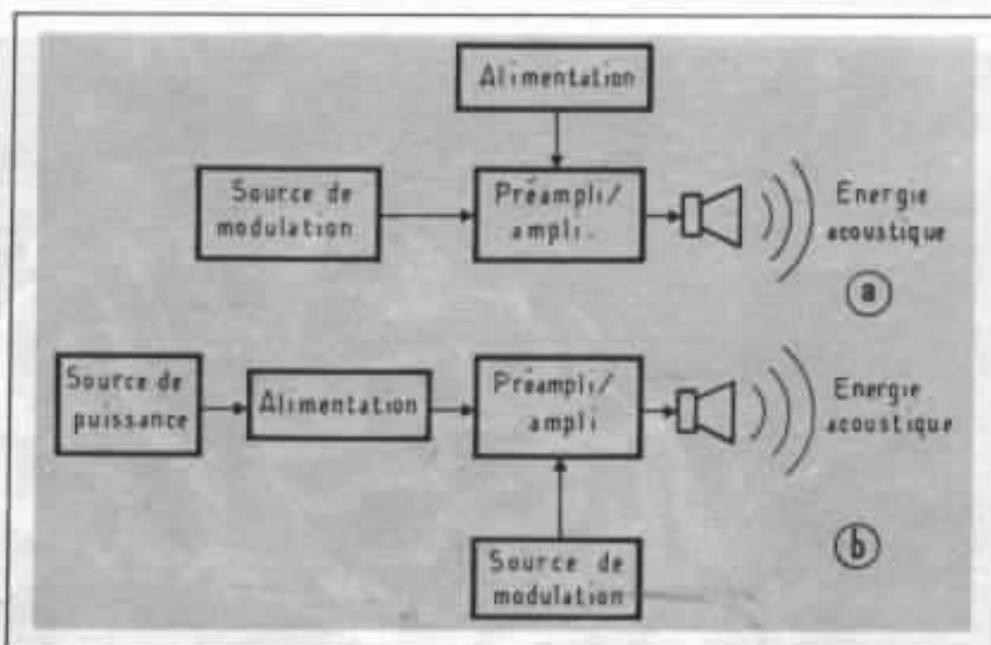


Fig. 8 A Schéma conventionnel d'une chaîne de reproduction

Fig. 8 B Schéma plus conforme à la réalité.

CONCLUSION

Il est intéressant de mettre en évidence par des mesures de laboratoire une corrélation entre un défaut dans le fonctionnement « électronique » d'un circuit, très souvent considéré comme accessoire, et l'impression subjective ressentie. Cette influence des circuits d'alimentation, surprenante a priori surtout pour les électroniciens, est en fait très compréhensible si on ne perd pas de vue le rôle exact d'une chaîne de reproduction électroacoustique.

On considère généralement en effet (fig. 8A) qu'une chaîne de reproduction transforme le signal d'une source de modulation (disque, bande, radio...) en énergie acoustique au moyen de circuits électroniques plus ou moins complexes commandant un système de haut-parleur. Ce point de vue est un peu simpliste. En réalité (fig. 8 B) une chaîne de reproduction transforme de l'énergie électrique prise à une source de puissance (secteur EDF, batteries...) en énergie acoustique suivant un « programme » imposé par la source de modulation. Les circuits d'alimentation prennent alors pres-

que autant d'importance que les circuits d'amplification. Ceci explique les différences subjectives, très considérables, ressenties en améliorant les circuits d'alimentation d'un préamplificateur ou d'un amplificateur.

En pratique, doit-on utiliser ou non des alimentations régulées ? Elles ont trois avantages : — le premier c'est leur dimension. Elles occupent beaucoup moins de place que leurs « équivalents subjectifs » non régulés. — le deuxième c'est leur prix. A qualité égale elles sont généralement moins chères. — le troisième avantage est bien évidemment la stabilité de leur tension de sortie qui a généralisé leur emploi en électronique professionnelle. En technique audiofréquence, ce troisième avantage n'est pas décisif.

Pour des chaînes de bonne qualité courante et surtout de dimensions normales leur emploi est très justifié en particulier sur les « petits étages ».

Dans du matériel de très haut de gamme destiné à des audiophiles inconditionnels, il faut généraliser l'emploi d'alimentations non régulées, mais alors attention au prix, au volume et au poids !...

**Page non
disponible**

Appréciation subjective de la qualité des préamplificateurs

Gustavo Altieri

Nos études comparatives des performances audibles des différents maillons d'une chaîne haute-fidélité ont commencé par l'analyse des platines tourne-disque. En réalité, notre premier but était de démontrer l'existence de différences perceptibles entre plusieurs platines équipées du même bras et de la même cellule. Les résultats ont été concluants : les auditeurs sont capables de reconnaître presque sans ambiguïtés la signature acoustique des platines et, aussi, les opinions ont été convergentes dans la coloration du son résultant. Pour le présent numéro, nous nous sommes intéressés aux préamplificateurs. Un groupe de ce type d'appareils a été récemment testé dans des conditions expérimentales aussi rigoureuses que celles du travail précédent.

Matériel utilisé et méthode de travail

Nous avons choisi pour nos expériences le matériel électroacoustique suivant :

- Platine tourne-disques Thorens TD 150 équipée du bras Lurné et d'une cellule Shure VI5IV.
- Amplificateur à tubes Yves Cochet.
- Câble de liaison Lucas.
- Enceintes Phonophone G1.

Les préamplificateurs représentent des réalisations de prestige. Deux d'entre eux sont des appareils de type commercial et de marques connues pour tout audiophile averti. Les deux autres préamplificateurs sont des prototypes non commercialisés.

Les cinq auditeurs présents lors des essais étaient installés dans une pièce différente de celle que nous utilisons pour l'installation du matériel électronique et

pour le commandement des expériences. Pour les sujets, donc, les appareils restaient invisibles et ils ne pouvaient pas entendre les bruits dérivés des manipulations.

Parmi les cinq participants nous trouvons trois catégories d'auditeurs qui représentent autant de façons différentes de juger un message musical : le spécialiste en haute-fidélité, le musicien, le mélomane amateur.



La platine TD 150 équipée du bras Lurné et d'une cellule Shure V15IV. Force d'appui 1,25 g sans antiskating. Fréquence de résonance de l'ensemble bras-cellule tant en vertical qu'en horizontal : 12 Hz.

Naturellement, le niveau sonore doit être équivalent lors de l'écoute des différents systèmes. C'est ainsi que le travail a commencé par l'établissement expérimental du réglage de chaque amplificateur. L'étalonnage a été effectué par appréciation subjective du niveau sur la base d'écoute d'un morceau musical différent de ceux qui ont été utilisés dans le test comparatif ; en l'occurrence le Largo de Haendel.

Une fois que les réglages des préamplificateurs ont été établis en vue de l'obtention d'un même niveau d'écoute, les auditeurs se sont familiarisés avec les ouvrages utilisés pour les essais définitifs et avec les caractéristiques acoustiques de la salle. Le

préamplificateur employé pour cette phase préparatoire ne faisait pas partie des modèles à comparer.

Un intervalle de repos de cinq minutes a séparé les opérations de réglage et reconnaissance du travail d'audition de l'écoute comparative.

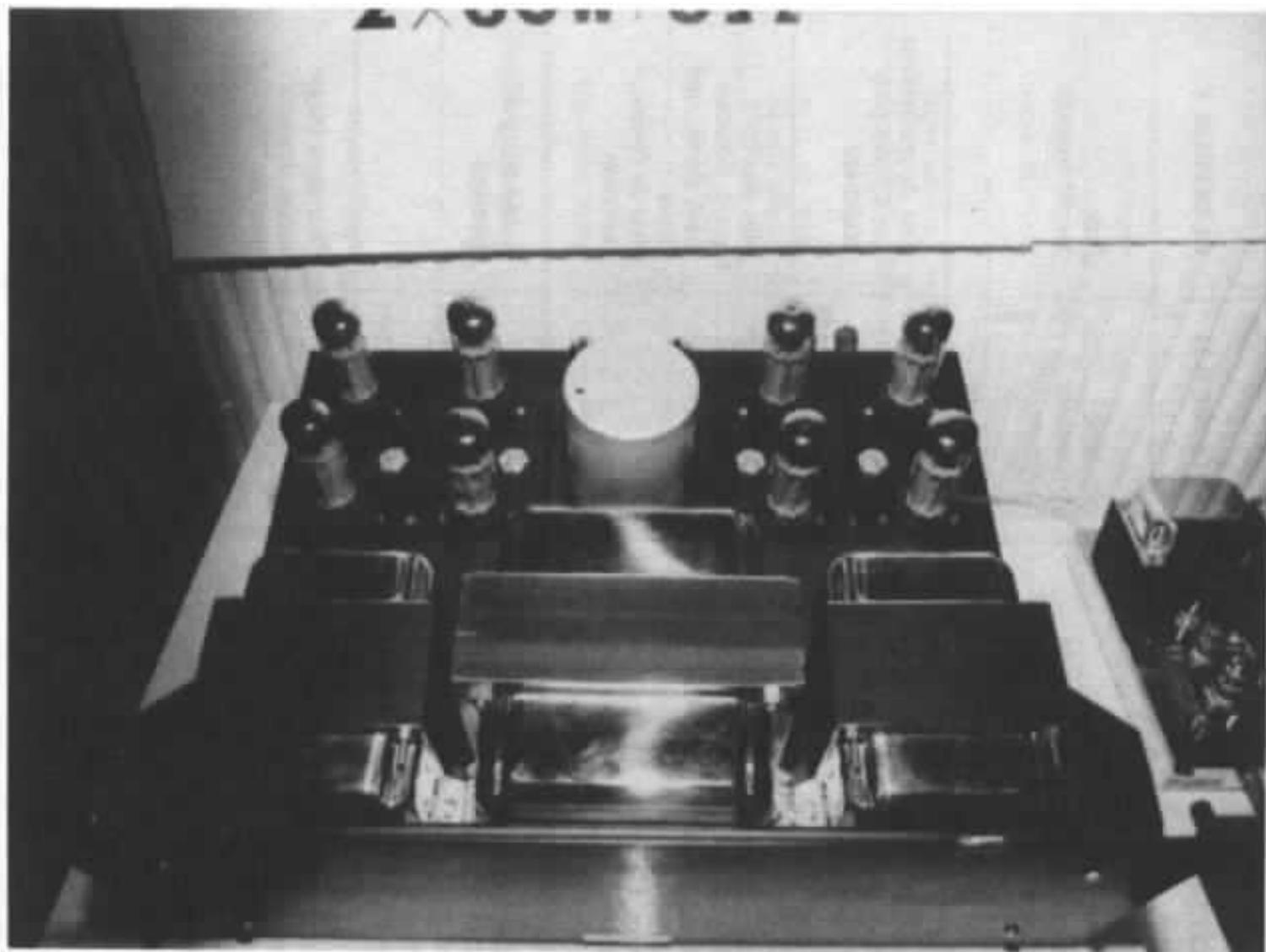
Le développement temporel de la séance expérimentale est indiqué sur le schéma.

Pendant chaque période d'écoute, les participants ont noté leurs appréciations à propos de la qualité de la reproduction sonore. Contrairement aux expériences d'évaluation des platines,

ici il n'était pas demandé aux auditeurs d'essayer de reconnaître les appareils, puisque les différences entre préamplificateurs sont reconnues maintenant et elles semblent évidentes pour tout amateur exercé.

Le tableau indique la succession des essais et les résultats du dépouillement des opérations notées par les sujets.

Le motif musical A était *Liguagé Pâques Ant. de l'office de Pâques. PS Jubilate Deo laudate Dominum, avec les moines de l'Abbaye de Ligure*. Le motif musical B était *Images pour Orchestre de Debussy. Gígues London Symphony orchestra, Direction Pierre Monteux*.



L'amplificateur utilisé prototype Yves Cochet. Tubes EL34, 2 x 90 W classe AB.

Résultats

L'analyse du tableau montre que le groupe d'auditeurs n'a pas trouvé un appareil nettement supérieur à la moyenne. Par contre, un des préamplificateurs (le α) se manifeste comme étant inférieur par rapport à la qualité moyenne des éléments testés.

Les trois autres affichent des performances variables et dépendantes du type de musique écoutée. Cependant il faut bien différencier les résultats qui sont dérivés des « causes naturelles », comme l'adaptation d'un appareil à un certain message sonore, des conséquences, des conditions expérimentales particulières. A ce sujet, nous signalons les

observations correspondantes à l'essai n° 2. Ici, les auditeurs ont trouvé une « amélioration » qui est la conséquence des difficultés propres rencontrées au début de l'expérience (essai n° 1).

Notons aussi, qu'après une écoute jugée mauvaise ou médiocre, le préamplificateur suivant est souvent surestimé. Ce dernier appareil serait sévèrement noté si il suit une écoute exceptionnelle. L'expérience n° 11 représente une anomalie de caractère accidentel puisque le résultat, aberrant, est conséquent d'un défaut au niveau de la lecture du disque. Ceci met en évidence que pour un niveau de qualité élevé et uniforme dans tous les maillons d'une chaîne, les moindres

défaillances sont rapidement détectées par les auditeurs (remarquer la concordance générale lors de l'essai n° 10, dans le sens positif, et la même concordance de toutes les opinions lors de l'essai n° 11, mais ici dans le sens contraire).

En ce qui concerne les opinions ou la forme d'expression des participants, nous avons résumé, avec leur accord, les lignes fondamentales. Naturellement chacun écoute et s'exprime d'une façon concordante avec sa formation et sa personnalité. Par exemple, pour une même situation, les observations ont été les suivantes :

- « Grave : mou, plat, en retrait extrême gonflé.

ESSAI	MOTIF	PRE-AMPLI	AUDITEUR I	AUDITEUR II	AUDITEUR III	AUDITEUR IV	AUDITEUR V
1	A	α	Graves : flou médium en avant sans définition image sans profondeur	dur, dynamique faible	plat, manque de clarté	pas bon, dynamique moyenne	fade, pas de nuances
2	A	α	Médium en avant, timbre pas-agréable	dynamique moyenne, image ping-pong	équivalent à 1 sans profondeur, sans précision, timbre pas vivant,	meilleur que 1, dynamique meilleure que 1, graves plus profonds	plus de profondeur que 1, voix plus détachées
3	A	β	grave manque, mais beau, image: impression d'espace, légère saturation ouvert.	présent dynamique moyenne, image sonore mieux respectée, timbre plus naturel.	bon différent de 1 et 2 clarté limpide aération, naturel	plus dynamique que 2 doux très bon, contraste.	plus équilibré que 2, détachement clarté, supérieure plus de finesse, précision
4	A	γ	légère saturation, timbre vers le naturel, semblable à 3	image large, plus précise pour les chœurs dynamique moyenne	assez bon localisation discutable	vaste, le 3 est mieux pour le timbre, bonne dynamique.	semblable à 3, aération
5	A	γ	saturation, image discutable, timbre moyen	dynamique moyenne, timbre naturel	bon en profondeur et transparence	comme 4	flou dans l'aigu moins dynamique que 3
6	A	δ	manque de clarté image fausse	dur, image floue, timbre moyen	moins naturel que 4, sifflant		moins clair sifflant
7	A	β	image plate manque de clarté, pas dynamique.	plat, manque d'aération	plat, dynamique pauvre.	moyen sifflant.	masque dans les aigus, sifflant
8	A	δ	image assez réelle.	plus naturel	comme 6	comme 6	ouvert, mais pas

α	A	δ	image assez réelle.	plus naturel	comme 6	comme 6	ouvert, mais pas très précis
9	B	β	image plate, manque de dynamique	peu ponctuel.	plat.	pas bon.	plat pas, terrible
10	B	δ	équilibré, clair, meilleur dynamique, timbre agréable.	plus réel, plus précis, dynamique	mieux que 9 plus dynamique, précision, clarté.	mieux, plus aéré douceur	OK, dynamique. précis, clair, vivant.
11*	B	δ	images et timbres mauvais	moyen	dur, moins dynamique, pas naturel.	timbre et dynamique mauvais	plat, confus
12	B	γ	peu de relief, faux	peu de piqué.	meilleur que 11	manque de dynamique	pas clair, manque d'ampleur
13	B	σ	mauvais	peu aéré pauvre	semblable à 9 sans dynamique ni précision	mauvais	fade, ennuyeux.
14	A	σ	moins sifflant		comme 12	sifflant	passable
15	A	β	image assez concrète	sifflant	caractéristiques proches du 5 dynamique bonne	bonne dynamique le 10?	vivant comme le 3
16	A	σ	pas Hifi	peu réel manque de vie	mauvais	mauvais	pas captivant.
17	B	σ	mauvais	médiocre	mauvais comme 16	médiocre	plat, pas beau
18	B	γ		plus réel plus de définition.	plus naturel comme 12, précision, vivant, clair.		assez bon

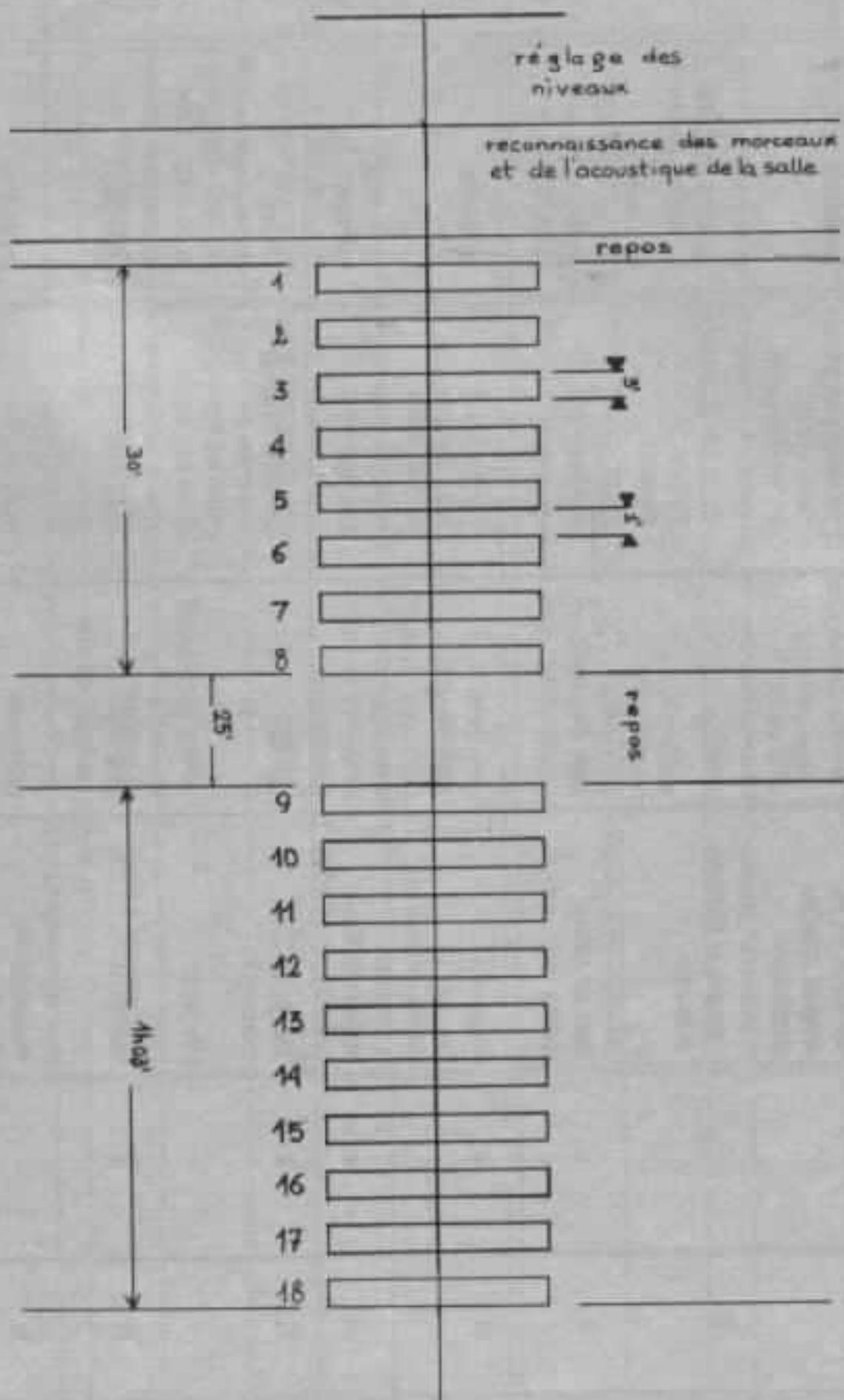


Schéma temporel de l'expérience.

- Médium : tournant, clair, mou.
- Aigu : derrière le souffle.
- Dynamique : sans épinard !
- Image : inexistante.
- Timbre : aberrant ».
- « Peu aéré, très moyen. Dynamique faible ».
- « Mauvais, moins dynamique que l'antérieur, dur, pas naturel ».
- « Moyen dynamique, moche, timbre peu différencié ».
- « Rideau !, plat, coincé dans l'aigu. Grave pneumatique, pas de nuances, confus ».

D'autre part, il est remarquable de voir l'habileté de certains sujets pour établir une appréciation globale des caractéristiques du son, ce qui permet la reconnaissance individuelle des appareils et le jugement d'ensemble. Un des auditeurs écrit :

- en 3 «différent de 1 et 2»
- en 6 «moins naturel que 4»
- en 8 «comme 6» [8 = 6]
- en 13 «semblable à 9 »
- en 14 «comme 12» [14 = 12]



L'enceinte Phonophone G1.

- en 17 «comme 16» [17 = 16]
- en 18 «comme 12» [18 = 12]

Et la reconnaissance est faite même lorsque les motifs musicaux sont différents !

- Un autre auditeur écrit :
- en 5 «comme 4» [5 = 4]
- en 8 «comme 6» [8 = 6]

Enfin, le test a servi à séparer clairement un des préamplificateurs du lot (par le bas), à mettre en évidence l'énorme capacité, la souplesse et en même temps les conditionnements de notre système perceptif, et une fois de plus à nous montrer la valeur bien relative des 4 ou 5 paramètres physiques que nous savons mesurer. En outre, nous estimons que ce type de travail nous apporte des informations nécessaires à la mise au point des méthodes globales d'évaluation. Les résultats qui découleront de ces investigations seront toujours immédiatement communiqués à tous ceux qui recherchent une lumière dans le monde des sons.

**Page non
disponible**

Le bras tangentiel

2 - Conception du Goldmund T 3

Michel Levy

Nous avons sommairement examiné les différents aspects du guidage des phonolecteurs, et observé d'un point de vue théorique, combien il était nécessaire de respecter plusieurs conditions géométriques au cours de la lecture d'un disque.

La mise en application des lois théoriques, nous a conduit à la conception et à la mise au point d'un appareil susceptible d'assurer un guidage correct des phonolecteurs, le Goldmund T-3..

Deux directions principales de recherches ont été suivies :

A - Réalisation technique du principe de l'annulation de l'erreur de piste.

B - Maîtrise des problèmes annexes de transcription (dont une partie recoupe bien évidemment ceux qui se posent dans le cas de bras pivotants) : géométrie, rigidité, amortissement, etc.

A - Première partie

L'ASSERVISSEMENT DE POSITION

1/ L'électronique.

Avant d'aborder ce que l'on

pourrait appeler le «hardware» et les technologies mises en œuvre dans la réalisation concrète de l'asservissement, il convient de décrire brièvement la logique mise en mémoire dans l'électronique qui dirige et contrôle la position du bras.

Rappelons tout d'abord que l'excentrage des disques conduit en toute rigueur à opter pour un système *bi-directionnel*. Pour que son action soit précise et efficace, nous avons conçu une boucle de correction de type *analogique*. Celle-ci assure en pratique (et en théorie), une finesse de compensation plus grande que

celle obtenue par une commande de type «tout-ou-rien». Elle nécessite cependant une électronique plus élaborée et de mise au point plus délicate.

La détection de la position du phonolecteur s'effectue par photo-diode et photo-transistor travaillant dans l'infra-rouge, ce qui rend le système relativement moins sensible à l'éclairement ambiant. La variation de flux photonique est convertie en variation de courant électrique, signal qui est ensuite comparé à la position théorique perpendiculaire, consignée sous la forme d'un signal de même nature dans

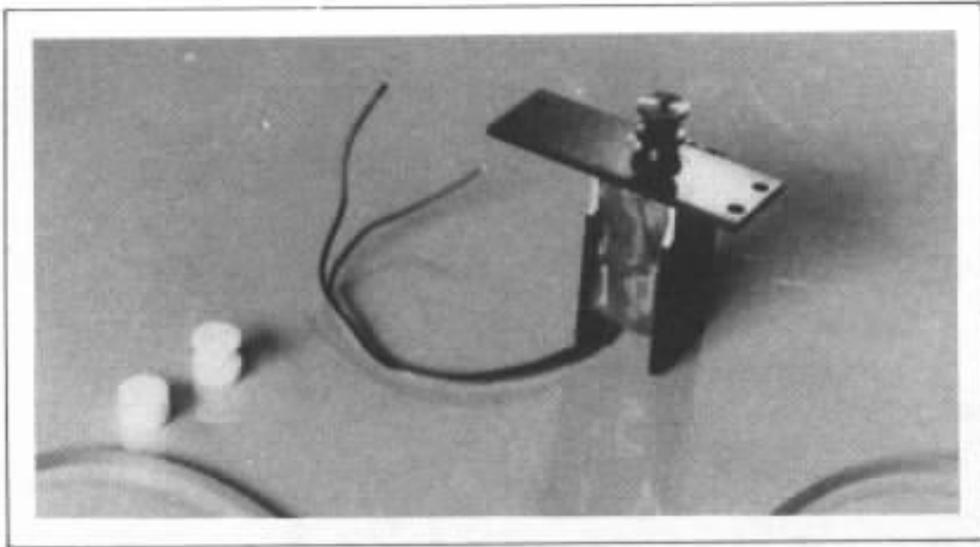


Fig 1 - Le micro-moteur d'asservissement avec ses éléments de transmission.

le dessin du circuit.

Par manque de place et pour nous limiter à l'essentiel de ce qui concerne les audiophiles, nous n'entrerons pas ici dans le détail du schéma lui-même, nous bornant à indiquer qu'il utilise une logique à Circuits Intégrés et T.T.L. (Transistors / Transistors Logiques). Pour la sécurité de fonctionnement, il comprend divers dispositifs de temporisation et de filtrage des parasites.

2/ Les moteurs

L'idée qu'un bras de lecture de très haute fidélité doit être « animé » et non purement passif, qu'il puisse se comporter de façon autonome et corriger de lui-même sa position de travail, disposant de sa propre source de courant, de ses moteurs, est encore malaisément acceptée en général. La technique de l'asservissement, encore relativement onéreuse par comparaison avec celle du bras « passif » à pivotement relève cependant de la même démarche qui fait progresser chaque procédé du plus sommaire au plus élaboré.

Devant répondre à différentes nécessités, la qualité du moteur d'entraînement principal est déterminante pour l'efficacité de l'asservissement : en effet, la bonne concordance entre les ordres donnés par l'électronique

et les mouvements de correction effectués en réponse, dépend entre autre de la *linéarité* des relations entre tension, vitesse et couple. De plus, le fonctionnement doit en être parfaitement symétrique afin de satisfaire aux sévères nécessités de l'asservissement bidirectionnel. Enfin, le bras devant pouvoir être associé à différents maillons, et donc à certaines platines tourne-disques à suspension, il a été nécessaire de choisir des unités de faible poids et d'encombrement réduit.

Ces deux micro-moteurs (l'un pour la correction de position,

l'autre pour le relèvement du bras) sont de même type, à courant continu. Leurs dimensions sont seulement de quinze millimètres sur quinze, pour une masse de trente grammes, réducteur compris. Leur tension nominale est de douze volts ; pour le moteur de correction, l'alimentation est limitée à moins de deux volts afin de réduire le « bruit » et les vibrations éventuelles. Il est accouplé à un réducteur de vitesse de rapport élevé. De plus, le moteur principal est découplé du bras lui-même, d'une part, au niveau de sa fixation, d'autre part, dans le processus de transmission du mouvement, qui s'effectue par l'intermédiaire d'une courroie de matériau synthétique. Le retour de la courroie est assuré à l'autre extrémité du trajet par une poulie de renvoi en Téflon.

3/ Le guidage du mouvement et la détection

Le rail de guidage devait répondre à deux impératifs :

- a) n'introduire aucune contrainte au niveau du travail de correction;
- b) assurer un déplacement rigou-

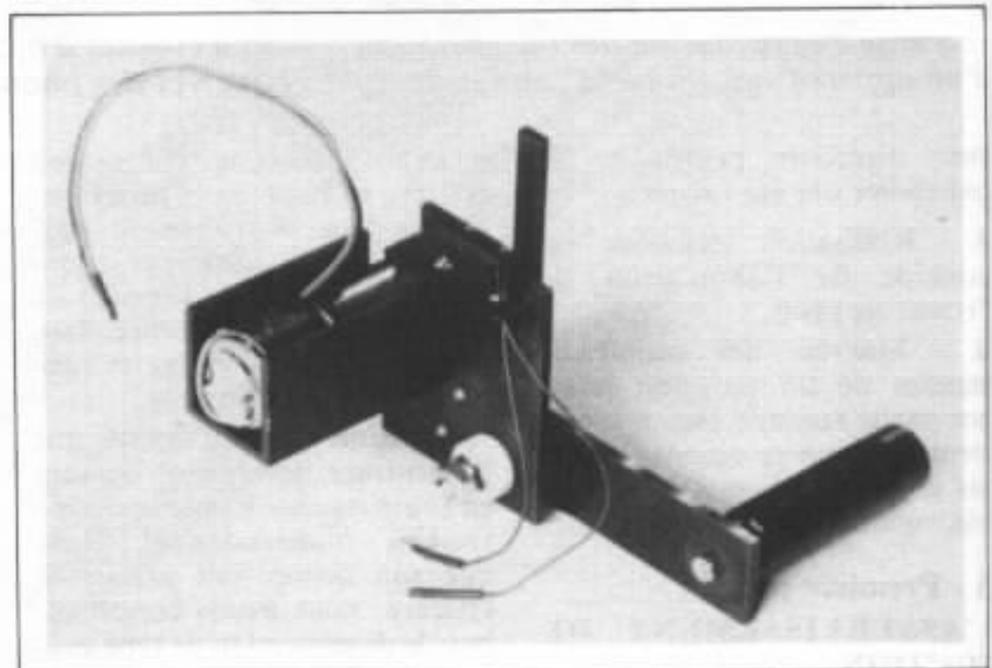


Fig 2 - Le système de lève-bras électrique comprend également la cuve qui contient le fluide d'amortissement (à droite sur la photo).

reusement linéaire de la pointe lectrice.

La précision d'usinage et l'insensibilité aux résonances imposaient une pièce massive ; mais les contraintes de légèreté évoquées plus haut interdisaient l'utilisation d'un métal. Le choix s'est donc porté sur un matériau de synthèse, le méthacrylate. Le rail est usiné dans la masse afin d'obtenir une grande précision en particulier sur les faces en contact avec les roulements du chariot de déplacement. Ce dernier qui supporte le bras proprement dit, le moteur de relèvement, et l'amortissement, est guidé verticalement et latéralement par sept micro-roulements à billes qui permettent une avance fluide et régulière de l'ensemble.

L'erreur de perpendicularité est détectée, nous l'avons dit, par un système de capteurs à infrarouges. Ceux-ci sont supportés par un « bras-pilote » parallèle au « vrai » bras, et qui place ainsi directement les photo-détecteurs auprès du porte-cellule. Par rapport aux différents systèmes existant actuellement, et qui travaillent au contraire près de l'articu-

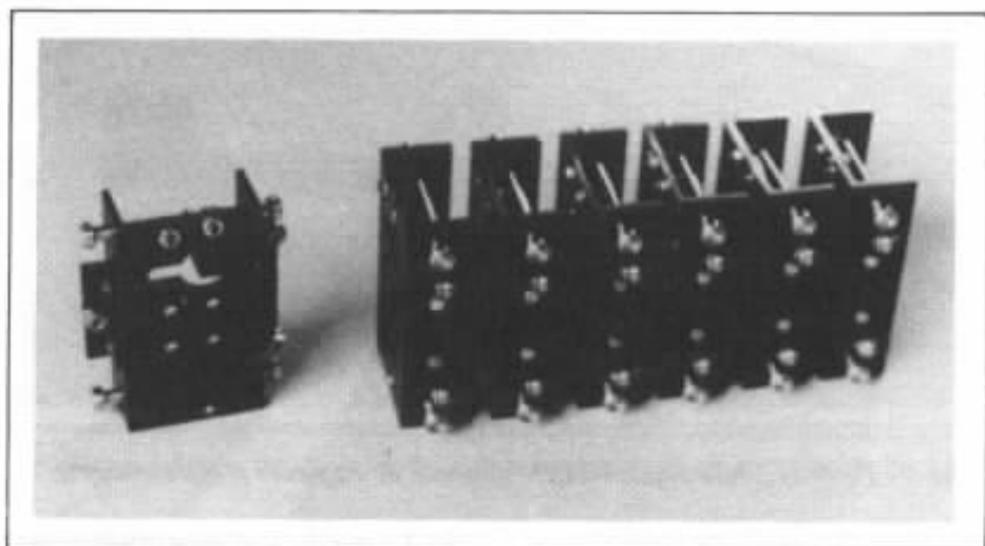


Fig 4 - Les chariots de déplacement guidés par roulements à billes.

lation du bras, cette disposition autorise une précision ou plutôt une sensibilité environ cinq à dix fois plus grande ; ce qui revient à dire que l'erreur résiduelle, toutes choses égales par ailleurs, se trouve réduite dans les mêmes proportions.

Il est enfin presque inutile de rappeler que le procédé de captage opto-électronique n'introduit aucune contrainte, aussi minime soit-elle, au niveau de l'équipage mobile.

4/ Le processus de correction

Le pas moyen d'un disque de

bonne qualité est de l'ordre du $1/10^e$ de millimètre.

La vitesse d'avance du bras, compte tenu d'un rapport de démultiplication approprié, peut s'élever à environ $8/10^e$ de millimètre par seconde. Ainsi, puisque la durée d'une rotation à 33 t/mn est d'environ 2 secondes, on voit que la correction maximale possible est toujours largement supérieure au pas effectif du sillon, c'est-à-dire à la progression du diamant vers le centre du disque ; cela pour tenir compte, bien sûr, des importantes variations qui existent non seulement d'un disque à l'autre, mais aussi entre différents passages d'un même morceau (piano ou forte).

En observant le travail de l'asservissement en cours de lecture, on constate que l'excentrage conduit en général le chariot de déplacement à effectuer de continus mais très lents mouvements de va-et-vient, suivant ainsi « en temps réel » les légères oscillations du sillon excentré.

On mesure ici l'intérêt de cette action de correction analogique et bi-directionnelle : d'une part, le système corrige *constamment* sa position, et d'autre part, il *inverse* à chaque demi-tour du

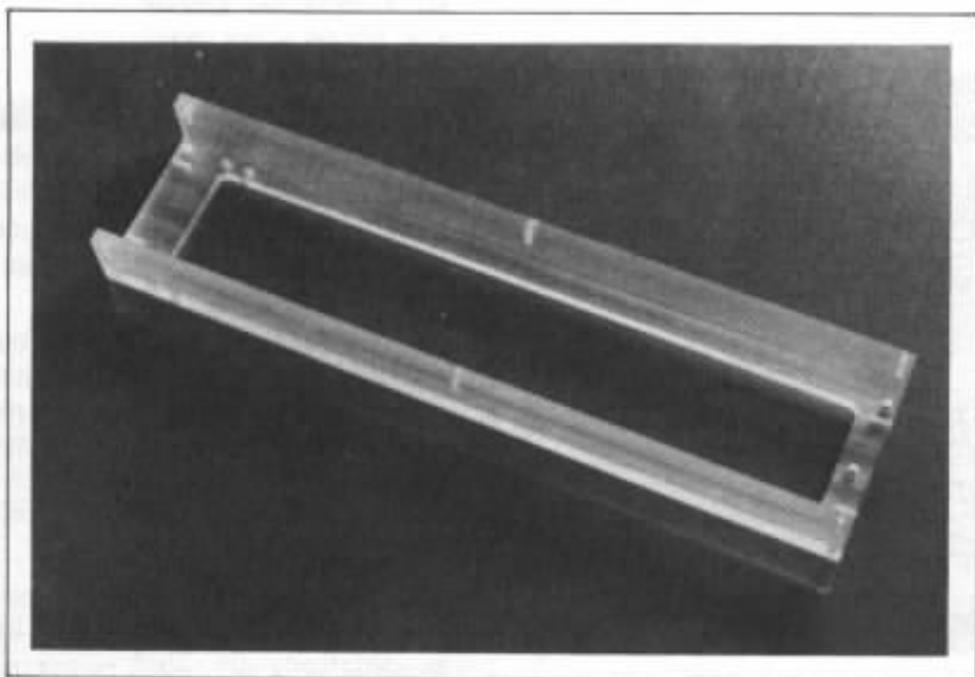


Fig 3 - Le rail de guidage.

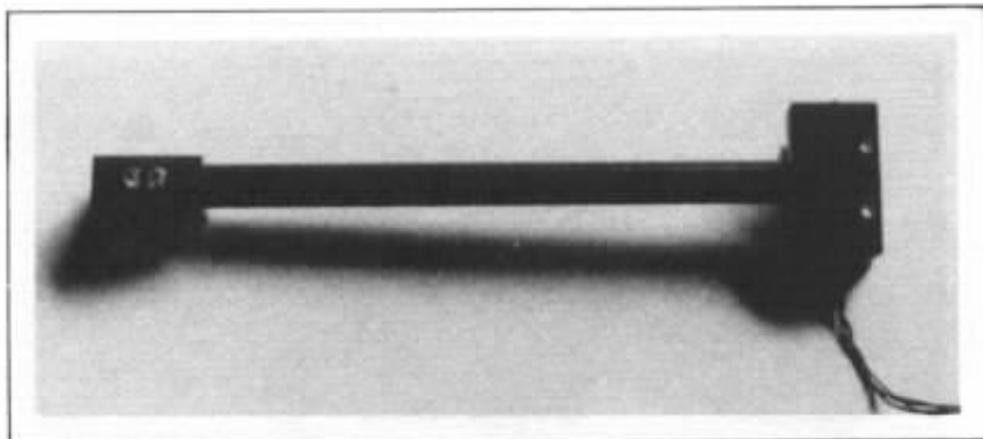


Fig 5 - Le bras-pilote supportant le système de capteurs à infra-rouges.

disque, le sens de celle-ci, suivant en cela le déplacement du sillon.

Sur le chapitre de l'erreur de perpendicularité, ou erreur de piste, soulignons à nouveau que celle-ci ne constitue pas la seule, ni même la plus importante des erreurs supprimées par le système tangentiel. En effet, l'angle d'offset, responsable de l'effet de «skating» (déjà évoqué dans notre précédent article, Cf. «L'AUDIOPHILE» N° 8) et de ses conséquences néfastes, est ici égal à zéro, ce qui supprime de fait une série de problèmes de lecture, bien moins connus mais tout aussi importants que l'erreur de piste.

5/ Le module d'asservissement

Pour des raisons de poids, d'encombrement et de commodité, il a été nécessaire de prévoir, compte tenu des dimensions du circuit et de la présence d'un transformateur (l'appareil fonctionnant sur le secteur) un module, séparé du bras, regroupant l'ensemble de l'électronique, les différentes commandes et visualisations. Rappelons que l'alimentation est régulée, la stabilité de la correction étant tributaire d'un courant d'alimentation parfaitement constant.

Ce boîtier représente naturellement un inconvénient pour ceux qui recherchent un encombrement minimum. En revanche,

même si sa présence n'était pas dictée par des raisons techniques, il autorise plusieurs possibilités telles que variation de la vitesse du lève-bras, relèvement en fin de disque, etc... De plus, la manœuvre du bras s'effectue à distance, ce qui procure non seulement un confort d'utilisation plus grand (ce qui n'est pas négligeable) mais aussi une sécurité accrue pour le diamant et l'équipage mobile (surtout si l'on utilise une platine à suspension très souple).

De fait, le chariot du bras reçoit tout de même, dans le dessein de réduire le nombre des conducteurs externes (et donc de minimiser les contraintes imposées à son déplacement) une petite part de l'électronique sous la forme de circuit miniature regroupant toutes les connexions des photocapteurs, du moteur de lève-bras, des témoins, etc.

Sur la façade de ce module (qui peut du reste être intégré au restant de la chaîne par un montage en rack standard 19 pouces) se trouve affiché le sens de la correction, une visualisation qui permet le contrôle et le réglage de l'appareil.

B/ Deuxième partie LA STRUCTURE

En dernière analyse, la fonction d'un bras de lecture est déterminée par les propriétés des phonolecteurs d'une part, et dans une large mesure par les caractéristiques des disques.

Si ces derniers étaient à la fois parfaitement plans et parfaitement centrés, le bras de lecture parfait existerait depuis longtemps. Cela n'est malheureusement pas le cas et tout un ensemble de problèmes demeure.

On sait, en effet, que les mouvements du diamant suivant les modulations du sillon se propagent, en général, par l'intermédiaire de la suspension de l'équi-



Fig 6 - En cours de lecture, le système de photocapteurs détecte directement les mouvements de la cellule.

page mobile, vers le corps du phonolecteur, induisant ainsi des vibrations parasites qui peuvent perturber le signal délivré. Le bras doit être aussi insensible que possible à ces vibrations, mais en revanche, il devrait être capable de suivre les mouvements latéraux de plus grande amplitude imposés par l'excentrage, de même que ceux causés par le voilage des disques.

Nous allons examiner les différentes solutions retenues en vue de la meilleure transcription mécano-électrique du signal gravé.

1/ La géométrie du tube

Si l'étude de l'asservissement et sa mise en œuvre réclament une somme importante de travail, en revanche, la *nature géométrique* du tube se trouve, dans un bras tangentiel, extrêmement simplifiée. En effet, le bras équipé de sa cellule possède dans ce cas un plan de symétrie, et son comportement peut alors beaucoup plus facilement être analysé, tant au point de vue statique que dynamique.

Disons schématiquement qu'en arrière de l'articulation, le contre-poids et la partie arrière du tube lui-même doivent posséder la plus haute densité possible, afin de ramener à son minimum le moment polaire d'inertie - caractéristique déterminant largement le bon comportement dynamique de l'ensemble bras-phonolecteur.

En effet, et contrairement à ce qui est souvent prétendu, un bras dont l'inertie est importante n'est jamais une aide pour le phonolecteur : Il ne faut pas confondre rigidité et inertie, qui vont parfois de pair, et conduisent à prendre l'effet pour la cause. Un bon bras doit être aussi rigide que possible, mais une inertie importante occasionne des efforts nuisibles pour



Fig 7 - Le Servo PL.5, module d'asservissement et de commande du bras.

le phonolecteur et contrarie l'efficacité de l'amortissement.

C'est pourquoi, en avant de l'articulation, le profil et la section du tube ont été étudiés en fonction d'un meilleur compromis rigidité/légèreté : le diamètre, mais aussi la section (épaisseur de paroi) décroissent progressivement depuis l'axe d'articulation jusqu'au porte-cellule (qui sera décrit plus loin). On obtient ainsi une très grande rigidité là où les efforts sont les plus importants, et la plus faible masse à l'extrémité. De plus, la discontinuité dans l'épaisseur de la paroi empêche l'établissement des ondes stationnaires parasites.

Les mouvements dans les deux plans sont autorisés par une articulation double à quatre roulements à billes de précision (protégés contre les corps étrangers). L'ensemble pointe de lecture-tube-contrepois est symétrique par rapport à un plan vertical passant par le diamant et le centre d'articulation.

2/ L'amortissement

Sans perdre de vue les considérations théoriques qui amènent à concevoir une partie antérieure la plus légère possible, la prise en compte des lois qui régissent la propagation des ondes vibratoires dans les solides, conduit à mettre en jeu des matériaux de densités différentes afin d'empê-

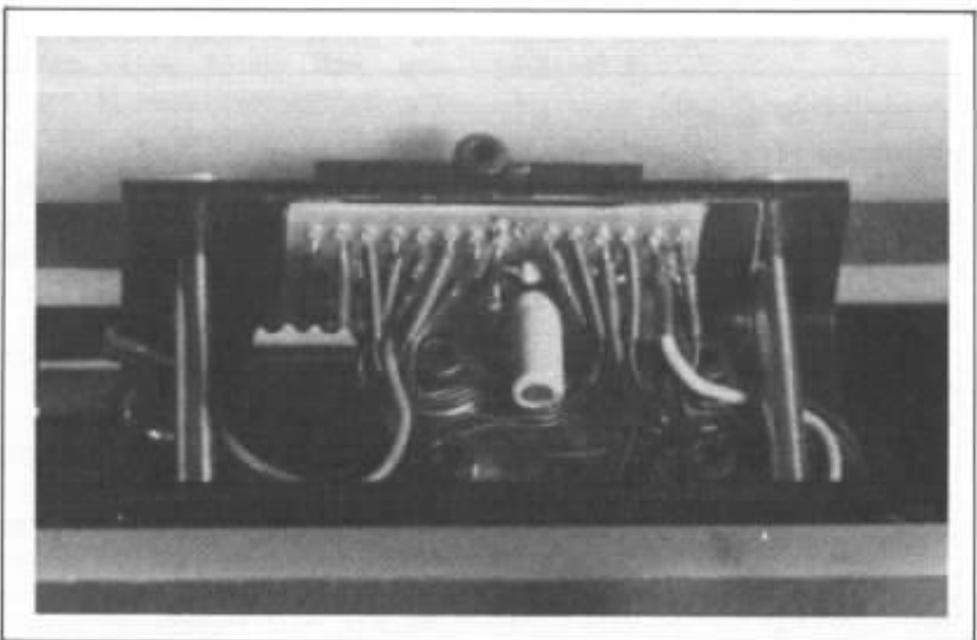


Fig 8 - A l'intérieur du chariot de déplacement, un circuit miniature reçoit toutes les connexions,

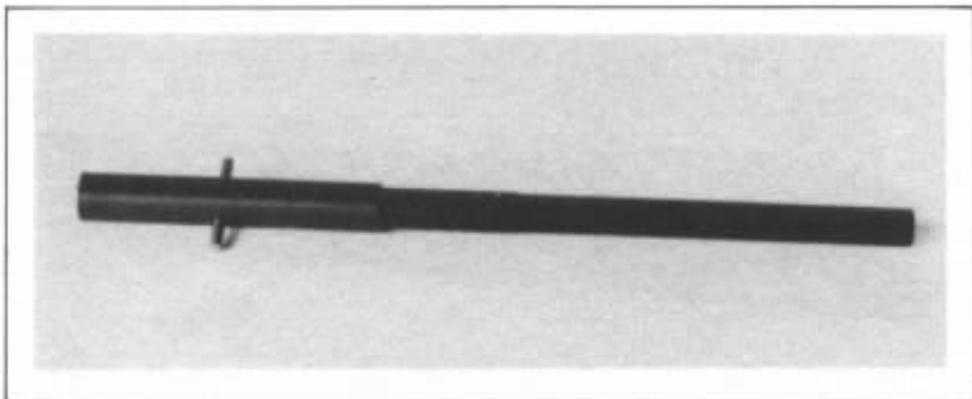


Fig 9 - Le bras proprement dit, rectiligne, avec son axe d'articulation.

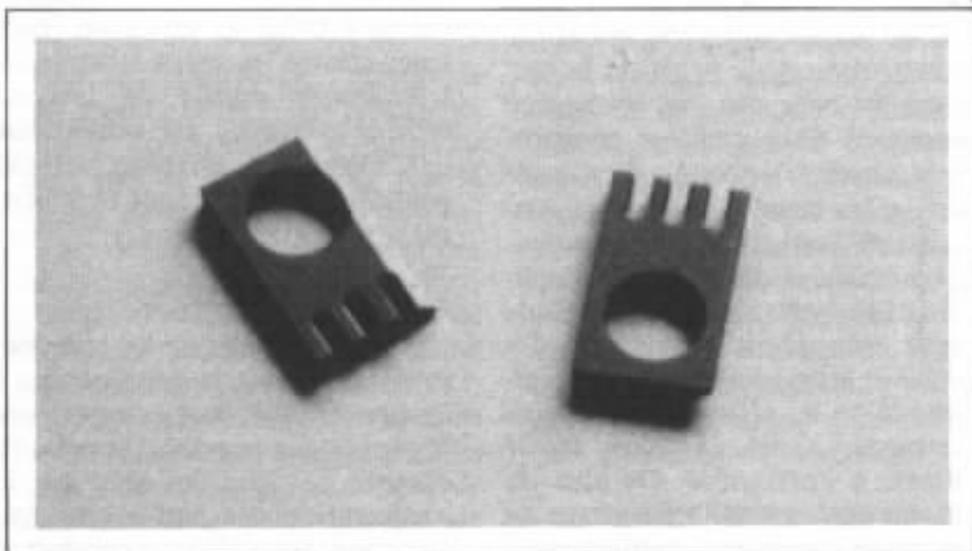


Fig 10 - Palette d'amortissement.

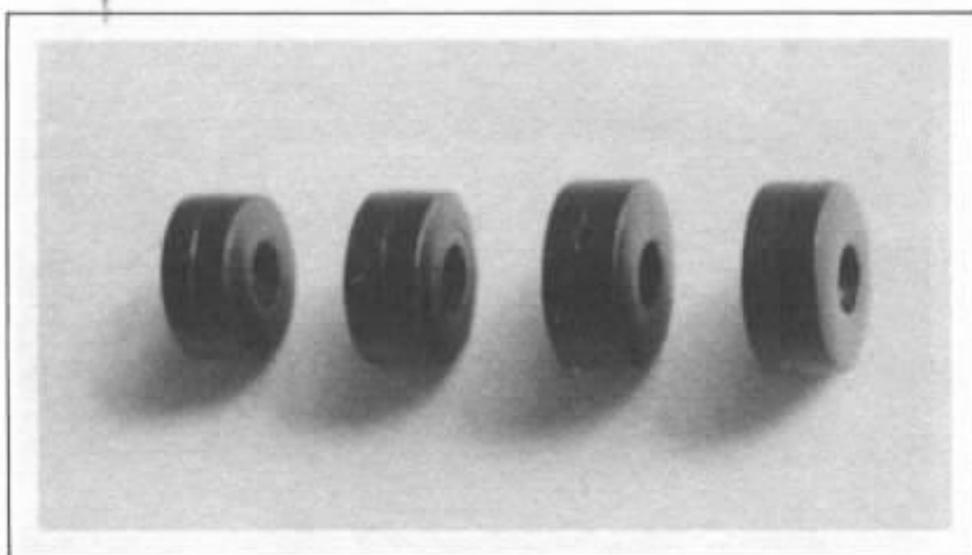


Fig 11 - Quatre contrepoids de masses différentes permettent d'équilibrer le bras en fonction des cellules.

cher par là aussi, l'établissement d'ondes stationnaires et les résonances parasites.

Ainsi, au niveau de la structure générale, l'utilisation d'une porte-cellule en Magnésium, d'un contre-poids en Plomb et d'un tube principal en alliage d'aluminium se trouve être particulièrement favorable au point de vue de la «neutralité» du bras vis à vis du signal délivré par le phonolecteur. Naturellement, l'emploi de ces matériaux a été dicté par d'autres considérations, développées ci-dessous.

Précisons que la partie arrière du bras est considérée dans sa totalité comme un contre-poids. Ainsi, à l'intérieur même du tube (doublé), se trouve une masse de Plomb à structure feuilletée.

On trouve par conséquent, dans cette partie où se concentre l'essentiel de la masse, trois zones alternées : Plomb feuilletée-Aluminium en double couche-Plomb massif.

En ce qui concerne l'amortissement classique par fluide visqueux, il est utilisé une pièce en matériau synthétique solidaire du tube et dont le profil conjugué une faible masse en mouvement avec une grande surface immergée dans un fluide aux silicones. Différentes densités et viscosités d'huile peuvent être utilisées afin, naturellement de se marier au mieux avec la compliance de chaque cellule.

Diverses séries d'essais ont permis de montrer que l'amortissement par fluide ne pouvait guère voir ses paramètres déterminés par le calcul. En effet, on sait que les modulations musicales, de même que la géométrie des disques, (excentrage, voilage) se présentent de façon tout-à-fait aléatoire. Ainsi dans certains cas, et pour certaines cellules, il s'avère préférable de n'utiliser aucun fluide, la neutralisation des vibrations parasites se faisant de façon optimum grâce à la structure interne de bras.

Cependant, en particulier pour des phonolecteurs de faible compliance, les caractéristiques du fluide aux silicones permettent au système d'amortissement de jouer un rôle essentiel dans la lecture propre du signal.

3/ Le contre-poids

Rappelons que le moment d'inertie d'un solide en rotation autour d'un axe est proportionnel au *carré* de la distance entre le centre de gravité de ce solide et l'axe de rotation, et *directement* proportionnel à la masse elle-même. Il est par conséquent préférable, quand on souhaite ajuster l'équilibre du bras selon différents phonolecteurs, d'alourdir le contre-poids arrière plutôt que de le reculer en l'éloignant de l'axe de rotation. C'est pourquoi, il apparaît aujourd'hui nécessaire d'utiliser plusieurs contre-poids de masses différentes. En effet, ce procédé de masses interchangeable permet de conserver une distance à l'axe réduite, ce qui agit favorablement sur le moment d'inertie de l'ensemble. Cette technique, évidemment moins souple, moins aisée d'emploi et plus onéreuse s'impose malgré tout lorsque le meilleur résultat acoustique est recherché.

Pour une bonne cohésion des matériaux entre eux, et afin d'assurer une absorption directe des vibrations parasites, ces contre-poids ne sont pas découplés du tube. Le matériau utilisé est, nous l'avons dit, le Plomb massif : ce métal, bien que très mou et peu commode, a finalement été adopté à la suite de tests auditifs qui recoupaient les résultats des calculs.

4/ Le porte-cellule

Les contraintes opposées d'une rigidité maximum et d'un poids minimum nous ont conduit à écarter le système de fixation standard. Le matériau utilisé est le Magnésium, de densité 1,74

(Aluminium : 2,70), un métal qui offre des caractéristiques de rigidité et de non-résonance particulièrement opportunes.

Au point de vue de la structure, il est intéressant de souligner que bien des porte-cellules existant actuellement possèdent une conformation très peu rationnelle eu égard aux principes de statique, et qui les rend particulièrement sujets aux phénomènes vibratoires que l'on cherche à éviter.

C'est pourquoi, nos études nous ont amené à concevoir un porte-cellule usiné avec précision selon un profil correspondant au

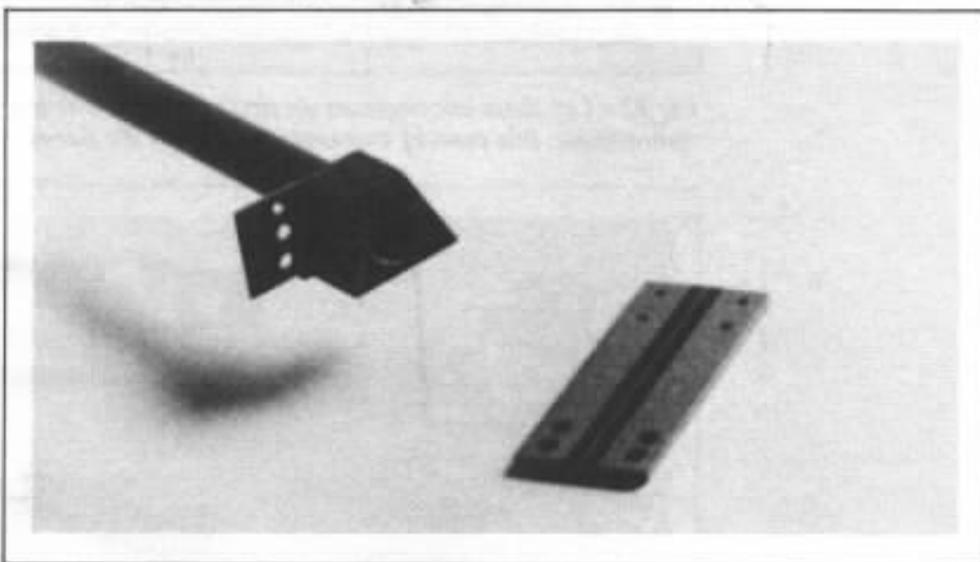


Fig 12 - Les deux pièces en magnésium qui constituent le porte-cellule.

diagramme des efforts de flexion. Une partie fixe, qui assure le contreventement, est solidaire de l'extrémité du tube.

Elle reçoit une micro-platine vissée qui porte le phonolecteur. Ce dernier participe à la rigidité de la pièce.

Enfin, si l'alignement de la cellule est important sur un bras de lecture pivotant, ce positionnement devient décisif dans le cas d'un bras tangentiel. C'est pourquoi, la face inférieure de la platine en Magnésium qui reçoit la cellule est gravée de lignes-répères parallèles, qui permettent un alignement exact du phonolecteur.

5/ Le câblage

L'optique choisie a été d'offrir au signal électrique un chemin présentant la moindre résistance possible, et une capacité très faible. Sur le T-3, la capacité totale du câblage mesurée entre la cellule et les connecteurs femelles de sortie s'élève à 30 pf. Cette faible valeur rend possible :

a) de recueillir la plus grande quantité d'information ;

b) d'ajuster, si nécessaire, la capacité de charge du phonocapteur (surtout dans le cas des aimants mobiles ; Cf. l'article de

Gérard Chrétien dans l'Audio-ophile n° 8).

Le câble conducteur est du fil de Litz, qui apporte une meilleure transmission des signaux transitoires et de très haute fréquence. Tous les connecteurs utilisés sont plaqués or. Les fiches de sortie sont des LEMO coaxiales à isolation Téflon ; leur fiabilité et leur conception mécanique rendent un tel choix presque impératif compte tenu de la « fragilité » du signal délivré par les phonolecteurs modernes. Les connecteurs CINCH/R.C.A suscitent tant de pertes de définition et de mauvais contacts que leur abandon nous apparaît comme inéluctable à ce niveau.

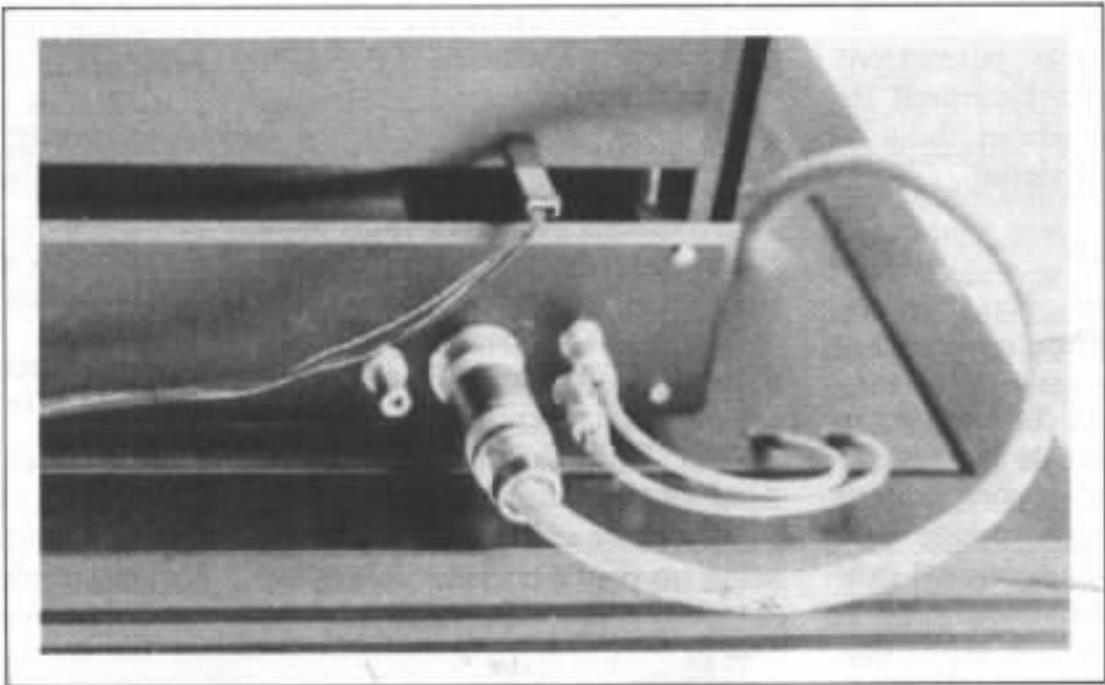


Fig 13 - Les deux connecteurs de droite conduisent le signal Audio, celui plus volumineux (au centre) transmet les ordres du Servo.

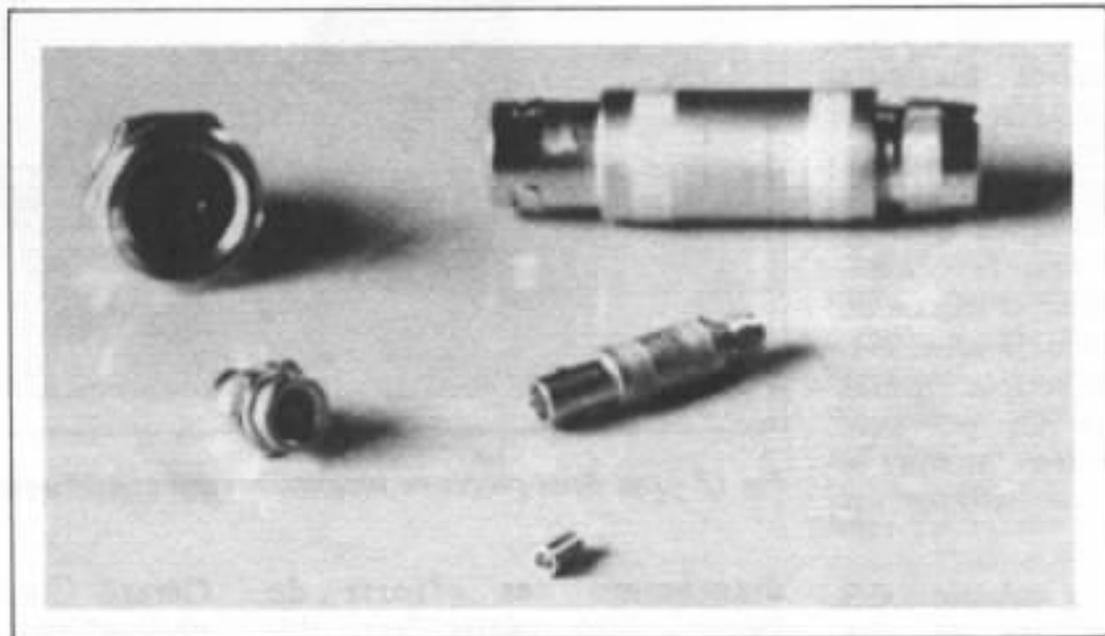
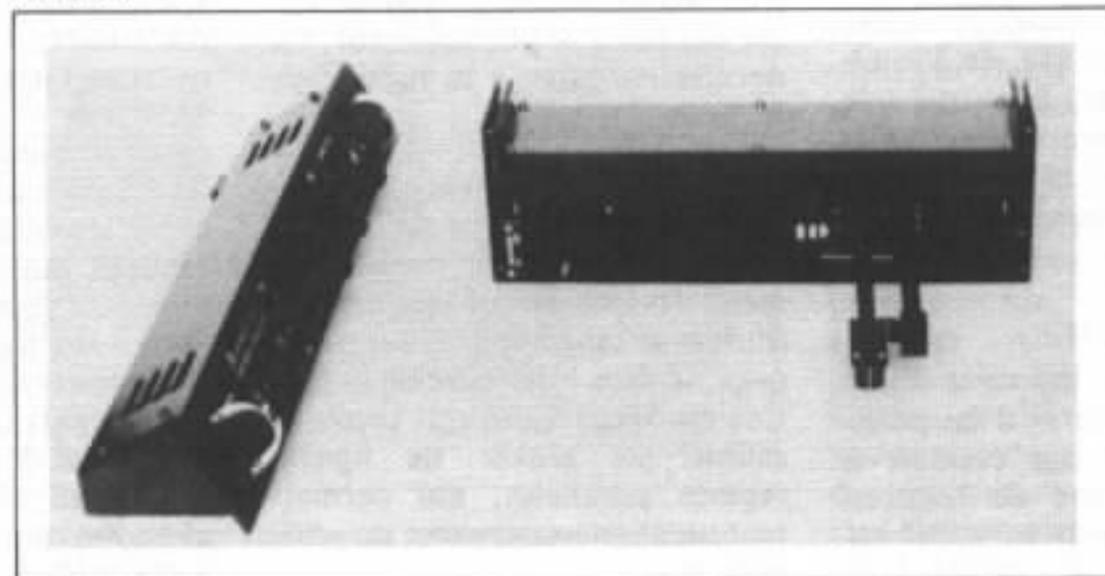


Fig 14 - Micro-douille à cage-ressort interne (pour la cellule), connecteurs LEMO coaxial (signal audio) et LEMO à 6 broches (commandes de l'asservissement).



6/ Réglages

Contrairement à une idée assez répandue, un bras de lecture tangentiel ne requiert qu'un seul réglage particulier : faire en sorte que le chemin (rectiligne) suivi par la pointe du diamant passe par le centre du plateau tourne-disque. Ainsi, la perpendicularité est assurée tout au long de la lecture, puisqu'un bras tangentiel se déplace toujours parallèlement à lui-même.

En ce qui concerne l'angle de tracking vertical (réglage commun à tous les systèmes de lecture), c'est-à-dire le positionnement de la cellule par rapport au

plan du disque, il a été jugé nécessaire de prévoir un système de réglage fin de la hauteur du bras (et donc de l'angle d'attaque du levier porte-pointe). Ce paramètre peut être modifié de façon progressive (voir, sur une platine non suspendue, en cours de lecture), ce qui autorise un repérage auditif de l'exactitude de l'angle choisi.

Le réglage de la force d'appui doit s'effectuer à l'aide d'une balance car les faibles déplacements d'un contrepoids très lourd ne permettraient pas un repérage graphique des valeurs. La disparition de certaines contraintes de lecture (en particulier

le skating) autorise sur tous les bras tangentiels une réduction notable de la force d'appui.

CONCLUSION

La philosophie adoptée par notre groupement dans la conception et le développement de cet appareil procède d'une recherche fondamentale axée sur la restitution du signal gravé. Il en est résulté un système certes complexe, mais qui nous paraissait faire défaut dans l'état actuel des techniques et compte tenu de l'évolution de la haute-fidélité dans tous les autres domaines.

**Page non
disponible**

Matériaux et enceintes acoustiques

Jacques Mahul

Dans les différentes considérations subjectives d'une enceinte acoustique, un des mots les plus fréquemment rencontrés dans les milieux « avertis » est celui de coloration. Ce terme emprunté au visuel masque souvent une certaine impuissance au niveau de l'analyse. On parle de coloration dans l'aigu mais plus fréquemment dans le grave ou dans le bas-médium. Cependant ce terme trouvera plus sûrement son origine dans un son distordu auquel participerait le rayonnement des parois du coffret. En effet aux distorsions engendrées par le haut-parleur seul, viennent s'ajouter celles du son transmis par les parois sous l'influence de l'onde arrière. Cette énergie accumulée peut atteindre un pourcentage non négligeable de l'énergie globale transmise, elle est évidemment très variable suivant les fréquences, des résonances privilégiées prenant naissance. Il est bien évident que toutes les considérations du style « son de boîte », « basses traînantes », « lourdeur du grave » sont à mettre en corrélation avec le son transmis par la structure du coffret. La puissance acoustique interne dans les basses fréquences est en effet plusieurs fois supérieure à celle des hautes fréquences.

Le matériau traditionnel est le bois, utilisé sous la forme d'aggloméré ou de latté, mais certains coffrets constitués du même matériau donnent de meilleurs résultats acoustiques que d'autres. Pourquoi ? Nous allons essayer de l'expliquer.

La rigidité du montage, la géométrie, les dimensions des parois sont autant de facteurs décisifs. D'autres matériaux que le bois pourraient convenir tout autant à priori. Des enceintes en plastique moulé existent actuellement sur le marché (voir B et O). Des

essais ont été réalisés avec le granite, le verre, l'acier, la brique, l'aluminium. Mais il faut bien reconnaître que jusqu'ici ces matériaux n'ont guère été plus concluants que le bois. Il est donc nécessaire de qualifier ces notions et d'établir des critères

de mesure. H.D. Harwood a introduit le module de Young, mesure d'élasticité, comme élément comparatif entre les différents matériaux. Soit, mais faut-il considérer les performances du panneau seul ou de l'enceinte complète, assemblée ? De plus, aucune littérature n'existe sur le module dynamique de Young, sur sa variation avec la fréquence, sur le Q, coefficient de surtension des différents matériaux utilisés pour la construction d'une enceinte acoustique.

Sous l'influence de Messieurs Harwood et Mathews du département de recherche de la BBC, des mesures ont été réalisées sur les différents paramètres rentrant en jeu dont M. Stevens s'est fait le porte-parole dans l'AES.

Les paramètres

Il apparaîtrait que l'impédance caractéristique divisée par le coefficient de surtension Q donnerait une assez bonne indication de l'atténuation procurée par la présence des parois du coffret à la résonance. Malheureusement il est montré que le Q de tous les matériaux envisagés est élevé et peut atteindre des valeurs voisines de 100. Il est clair, alors, qu'il est nécessaire de faire appel à un amortissement mécanique supplémentaire : laine de verre, mousse, goudron, plomb, etc... Mais alors le Q du matériau brut n'aura plus la même importance qu'auparavant et l'amortissement rentrera pour une bonne part en jeu. Les parties des panneaux proches des coins ont une impédance mécanique relativement élevée et il est démontré que la surface qu'il est nécessaire d'amortir peut, en conséquence, être réduite d'environ 50 % sans que l'efficacité de l'amortissement en soit sérieusement affectée.

Il n'est pas suffisant de mesurer les performances des pan-

neaux séparés car des couplages entre panneaux apparaissent dans le coffret monté et il est aussi nécessaire d'envisager une méthodologie de mesure de l'enceinte complète. Ces mesures peuvent contrarier certaines idées comme celle couramment répandue qui consiste à dire qu'il est bon d'utiliser un bois de la plus forte épaisseur possible si les contraintes de prix le permettent. Des panneaux de trop forte épaisseur peuvent au contraire engendrer une coloration plus importante.

Transmission à travers la structure.

Du fait que la pression sonore rayonnée par l'arrière du cône est transmise directement aux parois qui à leur tour transmettent une partie de celle-ci à l'environnement externe, il est nécessaire de garder la densité du matériau utilisé aussi élevée que possible. La perte de transmission d'un panneau est fonction de la densité du matériau. Le tableau n° 1 donne la liste des densités des différents bois ainsi que les pertes de transmission (en dB) pour des échantillons de 19 mm d'épaisseur, une valeur cou-

ramment rencontrée dans la construction des enceintes.

On s'aperçoit que la plage des pertes de transmission (réduction) des différents bois est faible (5,5 dB pour un maximum de 28,5 dB) alors que la densité peut tripler. Ces valeurs sont mesurées dans la bande 100 Hz, 3200 Hz qui est standard dans l'industrie du bâtiment. Dans les enceintes la bande significative est seulement de 100 Hz à 800 Hz, aussi les valeurs effectives de réduction sont légèrement inférieures à celles annoncées.

Rayonnement dû aux vibrations des parois

Le rayonnement sonore se fait aussi à partir des parois résultant des vibrations engendrées directement par le haut-parleur au travers de la structure même de ces parois, et des excitations mécaniques des parois produites par les modes de résonance des panneaux. Les pertes internes du matériau jouent un rôle primordial dans le contrôle de l'amplitude des modes de résonance du fait que les bois, aux pertes internes faibles, sont beaucoup plus

Tableau 1

Réduction de la transmission sonore entraînée par les différents bois

bois	densité (Lbs/ft ³)	réduction (dB)
ébène	60	28,5
contre-plaqué	40-60	27-30
chêne	50	28
aggloméré	40-50	27-28
hêtre	40	27
acajou	40	27
teck	36	26
noyer	35	26
pin	24	24
cèdre	19	23

enclins à vibrer, une petite quantité seulement de l'énergie vibratoire étant absorbée par les fibres du bois. L'amplitude accrue du mouvement qui se produit aux fréquences de résonance mécanique accentue grandement la transmission à travers le panneau dans les bandes de résonance, au point que le coffret devient pratiquement transparent acoustiquement. Le critère Q est une bonne indication des pertes internes du bois. Ce coefficient de surtension peut paraître anachronique dans un tel contexte du fait qu'il est plus généralement employé pour quantifier des variations de tensions dans les circuits résonants.

Comment mesurer le Q d'un bois ? On prend un morceau de bois à tester d'une longueur d'environ 60 cm, on place une de ses extrémités dans un étau et on en excite mécaniquement l'autre extrémité à l'aide d'un générateur de vibration, le tout réalisé de façon à ce que le couplage ait le moins de perte possible. Un petit accéléromètre est fixé près de l'extrémité libre de l'échantillon et après une amplification appropriée, le signal est enregistré. A partir de la forme de la courbe de résonance il est possible de calculer Q. Les résultats sont portés dans le tableau 2.

Tableau 2

Q des différents bois

bois	Q
aggloméré 3 couches	14
chêne	15
aggloméré standard	22
contreplaqué	24
bois blanc (sapin)	38

Nous constatons à partir des résultats des tableaux 1 et 2, que l'aggloméré, du fait d'un Q fai-

ble et d'une densité relativement élevée, est le meilleur choix pour la construction d'un coffret d'enceinte acoustique, bien que ce choix se soit fait beaucoup plus pour des considérations de bas prix de revient que pour des questions techniques.

La recherche

Pour obtenir des données précises sur les effets de la transmission sonore à travers les parois d'un coffret, une enceinte en aggloméré de volume intérieur 56 litres a été réalisée à cet effet. Les premières difficultés apparaissent quand on essaye de séparer le son rayonné par le cône de celui transmis par les parois du coffret, le champ sonore externe étant, pour la majeure partie, dû au rayonnement direct du cône.

Dans l'expérience réalisée, le rayonnement avant du cône a été isolé totalement du rayonnement des parois de l'enceinte en montant le coffret dans un mur en brique d'une épaisseur de 27,5 cm. L'ensemble rayonnant d'un côté dans une chambre de 27 m³ et de l'autre en champ libre, en plein air. Toutes les mesures ont été réalisées du côté «champ libre», le coffret étant tour à tour monté dans un sens ou dans l'autre pour permettre la mesure des rayonnements primaires et secondaires. Le haut-parleur est attaqué par un générateur à battement dont la gamme s'étend de 20 Hz à 20 kHz. La pression sonore rayonnée par le panneau arrière est mesurée par un micro positionné dans l'axe du coffret à des distances fixes de celui-ci. L'enceinte est alors retournée, le rayonnement direct mesuré, le rayonnement secondaire des parois étant alors isolé. Comme on peut le constater dans la figure 1, les pics obtenus entre 100 Hz et 700 Hz dus à la transmission à travers les parois et au rayonnement de celles-ci ne sont

seulement qu'à 10 à 12 dB en dessous de la radiation directe du cône du haut-parleur. Pour avoir la certitude que ces pics sont réellement dus à la transmission sonore à travers les parois du coffret ou au rayonnement des panneaux, un petit accéléromètre a été fixé en différentes positions du panneau arrière. Le signal de sortie a été relevé à différentes fréquences, le haut-parleur étant attaqué par un générateur sur la gamme des fréquences audio. On a pu ainsi tracer une courbe accélération fréquence en figure 2. Comme on peut le noter, les principaux pics de résonance trouvés dans la courbe de pression trouvent leurs origines dans le panneau arrière excité soit par des résonances du volume d'air interne, soit par la transmission mécanique directe à partir du haut-parleur, accentué par les résonances de la structure du panneau. Mais ces pics ne sont pas causés, comme on aurait pu le croire, par la transmission sonore à travers les parois. Du fait que la pression sonore rayonnée par un panneau est proportionnelle à la vitesse du panneau vibrant, le spectre de vitesse a été relevé en fonction de la fréquence et comparé au rayonnement en pression de la figure 1. Comme il est possible de le constater, les analogies sont frappantes ; la courbe de vitesse indique que le champ sonore secondaire est dû au rayonnement du panneau arrière seul ; les différences dans l'extrême grave révélant les degrés de transmission sonore à travers les parois du coffret.

Le mouvement du panneau arrière peut être accentué soit par :

- a) les modes de résonance propres du panneau seul ;
- b) les modes de résonance acoustique du volume d'air interne ;

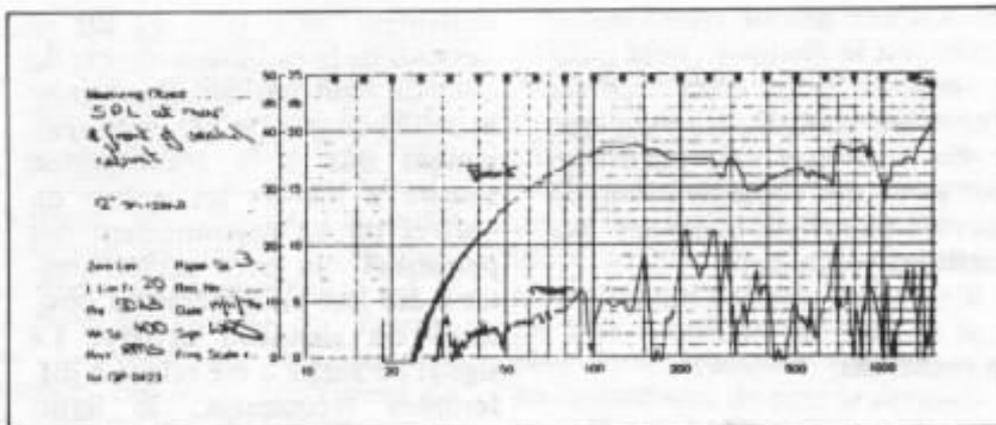


Fig 1 : Pression sonore, mesurée sur l'avant et l'arrière de l'enceinte.

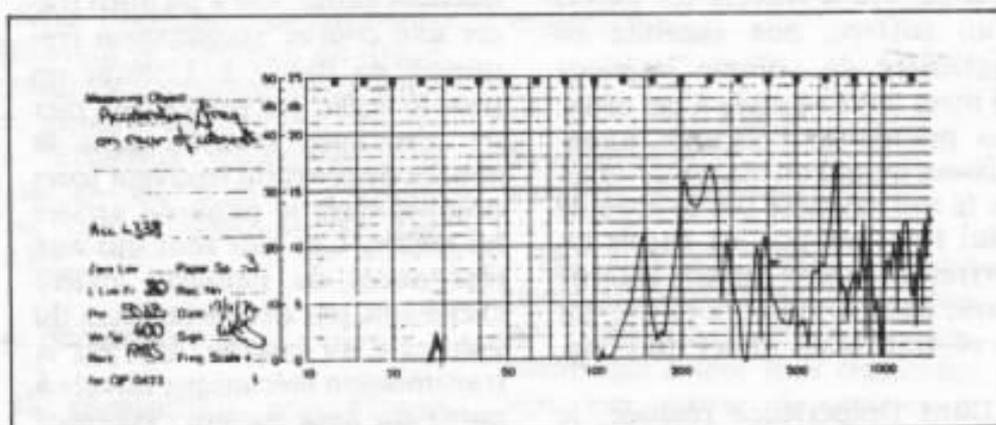


Fig 2 : Accélération en fonction de la fréquence mesurée sur l'arrière de l'enceinte.

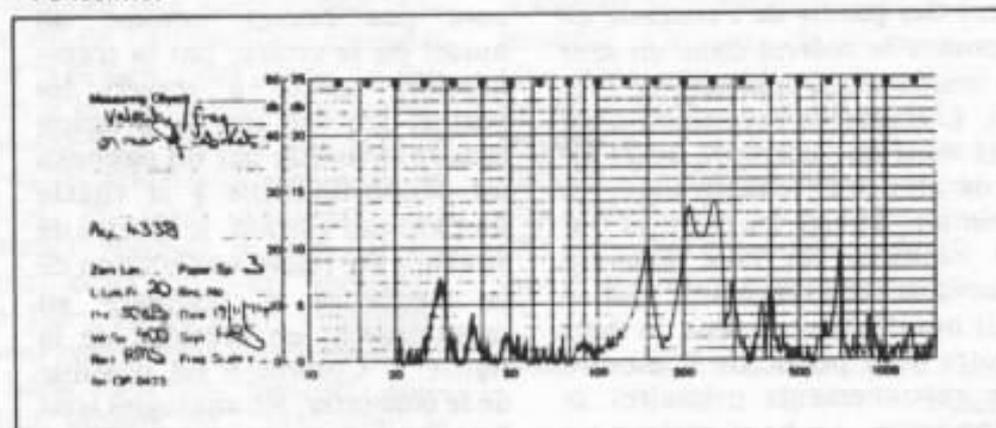


Fig 3 : Vitesse en fonction de la fréquence mesurée sur l'arrière de l'enceinte.

- c) les contraintes en élasticité du panneau arrière ;
- d) la combinaison de la masse du panneau et de la raideur de l'air enfermé.

Un panneau aura des séries infinies de résonance le long des trois axes. Les modes de résonance dans les deux sens largeur et longueur d'un panneau peuvent être calculés en connaissant la vitesse de propagation dans

l'aggloméré par exemple et les dimensions du panneau, les trois variables étant reliées par l'équation simple :

$$FR = C/2 \times 1/L$$

C = vitesse des ondes longitudinales à travers le panneau (m/s)

De la même manière, les modes d'un coffret acoustique complet peuvent être calculés par l'équation de Rayleigh :

$$FR = \frac{C}{2} \sqrt{\frac{A^2}{L^2} + \frac{B^2}{l^2} + \frac{D^2}{H^2}}$$

Avec A, B, D : les ordres des modes respectifs, C : la vitesse du son dans l'air (m/s) et L, l, H : les dimensions internes du coffret.

Comme cela apparaît dans cette équation, un coffret parfaitement cubique aura le même spectre de résonances le long des trois axes. Pour éviter ce problème les coffrets ont généralement une forme rectangulaire, une bonne règle étant de choisir comme rapport des dimensions, le nombre d'or.

Mais il existe un autre type de résonance dont il faut tenir compte, dû à la masse du panneau et à la compliancé de sa fixation aux extrémités. Tout panneau simplement fixé sur ses quatre bords aura des modes de vibrations qui peuvent être calculés par l'équation suivante :

$$FR = 0,48 Ct \left(\frac{A}{a^2} + \frac{B}{b^2} \right)$$

avec A et B : les ordres des modes respectifs, t : l'épaisseur du panneau (m)

C : vitesse des ondes longitudinales dans le panneau (m/s)
a et b : dimensions du panneau (m)

Les résonances inférieures de la courbe accélération/fréquence ne peuvent pas être prises en considération par les équations ci-dessus. Le tableau ci-dessous regroupe les résonances principales du panneau avec une explication brève de leurs origines.

Effets de la radiation du coffret sur la qualité sonore

Aux fréquences à laquelle il rentre en résonance mécanique,

Résonances du panneau

Origine de la résonance	Résonance mesurée	Résonance calculée	effet sur la réponse en fréquence mesurée
masse du panneau raideur acoustique	145 Hz		trou
c) F ₁₋₁	199 Hz	199,5 Hz	pic
c) F ₂₋₁	244 Hz	246 Hz	rien
b) mode longueur	285 Hz	281 Hz	pic
c) F ₁₋₂	342 Hz	349 Hz	rien
c) F ₂₋₂	383 Hz	398 Hz	rien
b) mode profondeur	691 Hz	674 Hz	trou
a) mode longueur	1561 Hz	1560 Hz	rien

N.B. F₁₋₂ = mode longueur du premier ordre - mode largeur du 2^e ordre.

Tableau 3

le panneau est virtuellement transparent acoustiquement et à chaque fréquence de résonance le panneau possèdera un temps de réverbération donné par l'équation suivante :

$$R_T = 2,2 Q/F_R$$

Ceci a été confirmé par une mesure du temps de réverbération mécanique du panneau à l'aide d'un petit accéléromètre fixé au panneau fournissant un signal de sortie.

Les résultats sont regroupés au tableau 4.

Le Q élevé de ces groupes de

résonances modifie inévitablement la réponse transitoire du signal appliqué, le front de montée étant retardé, des suroscillations venant se joindre au signal de sortie une fois le signal d'entrée supprimé.

Alors qu'un grand nombre de travaux existent sur les impressions des retards de groupe dans les systèmes audio, peu de travaux n'ont été réellement publiés sur la réaction subjective des défauts mécaniques d'une réalisation. Quelques impressions subjectives préliminaires des effets des résonances ont été

Tableau 4

Temps de réverbération mesurés et calculés

Résonance	Q mécanique	Q acoustique	R _T calculé	R _T mesuré
145 Hz	18	18	0,27 s	0,30 s
200 Hz	15	16	0,17 s	0,17 s
244 Hz	14	14	0,13 s	0,18 s
285 Hz	36	35	0,25 s	0,22 s
383 Hz	32	31	0,17 s	0,16 s
691 Hz	34	38	0,11 s	0,11 s

obtenues en simulant électriquement les résonances, une partie d'un signal enregistré sur un magnétophone étant réinjecté à travers une série de filtres accordés simulant les résonances trouvées dans le coffret. Ce signal a été remixé à un niveau variable avec le signal d'origine permettant ainsi d'étudier le degré de « résonance de panneau » qui pourrait être toléré avant qu'aucune détérioration du signal reproduit ne soit notable. Cinq types de programmes ont été utilisés, tous avec un niveau élevé dans les basses fréquences. Ces programmes étaient les suivants : voix masculine, orgue, musique pop, masse orchestrale, et bruit rose.

Il est apparu que pour des valeurs de Q faibles (c.a.d. $R_T < 100$ ms) l'énergie de la résonance injectée dans le canal de reproduction produisait des changements évidents en amplitude avant qu'un réel changement en qualité ne soit tangible. Aux fréquences supérieures à 600 Hz, les Q aussi élevés que 35 ne pouvaient même pas être détectés à l'oreille alors qu'ils n'étaient qu'à 5 dB en dessous du niveau principal. Aux fréquences basses où les Q de résonance étaient voisins de 20 ($R_T = 300$ ms à 145 Hz), les effets devenaient incroyablement évidents et les pics de résonance devaient être à 10, voire 14 dB en dessous du signal de référence pour devenir imperceptibles.

Même si le changement de qualité dû aux résonances basses fréquences était audible, on ne peut pas dire que la détérioration soit considérable du fait que ces résonances «amélioraient» parfois l'original (exemple : voix masculine). Nous reviendrons sur ce sujet si vaste pour donner des solutions pratiques.

**Page non
disponible**

Influence du local sur les enceintes acoustiques

Roy Allison

Traduction Gérard Chrétien

Les lecteurs sont conscients du problème d'adaptation des enceintes acoustiques au local d'écoute. De nombreux moyens existent pour tenter de s'en affranchir mais malheureusement peu sont préventifs. Roy Allison a beaucoup travaillé dans ce domaine. Il nous propose ici, un article original dont l'intérêt est d'établir une relation rationnelle entre l'emplacement d'un haut parleur dans un local et la forme de la réponse globale obtenue, et ainsi d'en déduire des critères de conception pour les enceintes acoustiques.

Les travaux de Thiele et Small de ces dernières années ont profondément modifié la façon de concevoir les enceintes acoustiques. En fait, ils n'étendirent pas les limites inhérentes aux performances des haut-parleurs de grave, mais définirent ces limites. Ils quantifièrent les interactions entre taille de l'enceinte, efficacité du système et étendue de la réponse dans le grave, et développèrent des techniques de synthèse systématique avec une procédure d'étude considérablement simplifiée.

Il est cependant certain que ces investigations ont aidé à l'amélioration de la qualité moyenne

des enceintes acoustiques. Il est maintenant plus aisé pour les constructeurs d'optimiser leurs réalisations. D'ailleurs plusieurs firmes avancent dans leurs publicités, que leurs produits ont été élaborés par calculateurs programmés avec les formules de synthèse de Thiele/Small.

Malheureusement, les particuliers ne peuvent jouir que très partiellement des améliorations apportées par cette méthode. Il est commun de concevoir une enceinte acoustique de sorte à obtenir une réponse en fréquence plate en chambre sourde. Les concepts de Thiele/Small impliquent un environnement entaché

d'aucune réflexion. Cependant personne n'écoute ses enceintes acoustiques en chambre sourde, mais en général dans un environnement domestique. Les locaux d'écoute domestique réagissent sur les haut-parleurs dans le bas du spectre et modifient leur réponse de façon significative.

Pression sonore rayonnée

Nous pouvons mieux le comprendre en se reportant à la formule suivante qui explicite le niveau de référence de la pression sonore aux fréquences basses à la distance r du haut-parleur.

$$|p/c = \frac{eg Bl po}{(Rg + RE) M_A 4\pi r S_D}$$

Où eg est la tension de sortie de l'amplificateur en circuit ouvert - B : densité du flux dans l'entrefer - l : longueur de la bobine mobile dans le champ magnétique - po : densité de l'air - Rg : impédance de sortie de l'amplificateur - RE : résistance de la bobine mobile - S_D : surface effective de la membrane et, M_A : la somme des masses acoustiques dans le circuit, incluant celles de la membrane et de la bobine mobile aussi bien que la masse acoustique de l'air chargeant l'avant et l'arrière de la membrane.

Cette formule est valable au-dessus de la fréquence de résonance et en dessous de la fréquence à laquelle le transducteur commence à devenir directionnel. Elle s'applique à tous les systèmes à radiation directe, qu'il soit de type clos ou à évent.

Variation de l'angle solide

La majorité des termes de la formule ne change pas avec l'environnement du haut-parleur, à l'exception de deux d'entre-eux. Le premier est le facteur numérique 4π , au dénominateur. Il traduit l'angle solide, la portion d'espace tridimensionnel, à l'intérieur duquel le boomer rayonne son énergie. L'unité d'angle solide est le stéradian ; 4π stéradians représente tout l'espace, l'angle de rayonnement que « voit » le boomer si l'enceinte est placée en l'air, suffisamment loin de toutes parois. Les basses-fréquences sont diffusées omnidirectionnellement, aussi le boomer créera une propagation du son homogène dans toutes les directions, l'énergie sonore sera diffusée uniformément sans perturbation due aux réflexions sur des parois proches. Une chambre sourde simule un tel environnement.

Maintenant, si l'enceinte est placée au centre d'un très grand

mur, de sorte que la suspension du haut-parleur de grave se trouve au niveau de la paroi, l'angle de rayonnement sera réduit de moitié.

Le haut-parleur de grave fonctionnera sur une demi portion d'espace, un angle solide de 2π stéradians. La formule du rayonnement nous indique que le niveau de référence de la pression sonore sera doublé, l'expérience le vérifie. Nous devons obtenir une augmentation de 6 dB. Un accroissement de 3 dB est observé parce que nous avons concentré toute la puissance rayonnée dans la moitié de l'espace dans lequel elle se dissipait auparavant. Ces 3 dB ne sont pas importants car ils n'impliquent pas de modification dans la puissance rayonnée. Toutefois le second accroissement de 3 dB est le résultat d'un accroissement de l'énergie rayonnée par le boomer. Le rendement est double dans un angle solide de 2π par rapport à un angle de 4π .

Supposons à présent que nous sommes capables de positionner le boomer à l'intersection de deux parois perpendiculaires. L'angle de rayonnement est encore divisé par deux et vaut cette fois π stéradians, la puissance rayonnée par le boomer est doublée.

Enfin le cas d'un angle solide de $\pi/2$ stéradian, souvent rencontré dans un local domestique lorsque les enceintes acoustiques sont placées à proximité d'un angle et le haut-parleur de grave près du plancher. La puissance acoustique est encore accrue de 3 dB dans le bas du spectre par rapport au cas précédent. Soit une augmentation de 9 dB de la puissance rayonnée lorsque l'angle solide passe de 4π à $\pi/2$ stéradians.

Toutefois on pourrait penser que ces divers accroissements théoriques de la puissance rayonnée, lorsque l'angle d'émission

décroit, ne sont obtenus que si le transducteur est placé quasiment sur les parois.

Sous l'aspect acoustique, les transducteurs ne sont jamais sur les parois pour des fréquences supérieures à 500 Hz environ. Cependant, en usage réel, dans un environnement domestique en modifiant la puissance émise dans une zone de fréquence uniquement, et dont le niveau varie suivant l'emplacement choisi par l'utilisateur - l'équilibre global du système obtenu en chambre sourde et radicalement altéré. Compte tenu de ce que les effets perturbateurs du local ne peuvent être prévus, il en résulte que les enceintes acoustiques conçues sur la base d'une réponse plate en chambre sourde, ne peuvent en aucun cas produire une réponse uniforme dans un local domestique.

Nous avons mentionné qu'un haut-parleur devait être suffisamment proche d'une paroi, pour qu'il voit son comportement affecté. Savoir ce que « proche » signifie, nous amène à un autre terme de notre formule, lequel change quand l'enceinte est déplacée de la chambre sourde à l'environnement domestique. Il s'agit de po , la densité de l'air.

Influence des réflexions

Naturellement, la valeur de la densité varie en accord avec la pression atmosphérique. Cependant la « densité instantanée », est proportionnelle à la pression instantanée, et le son lui-même est le résultat des variations de la pression de l'air, lesquelles procurent la sensation auditive. Dans une chambre sourde un haut-parleur crée des variations de pression dans la gamme des fréquences audio qui se propagent jusqu'aux murs de la chambre sourde qui les absorbent. Dans un local domestique, inversement, une partie de l'énergie sonore est réfléchiée par les parois

Fig 1

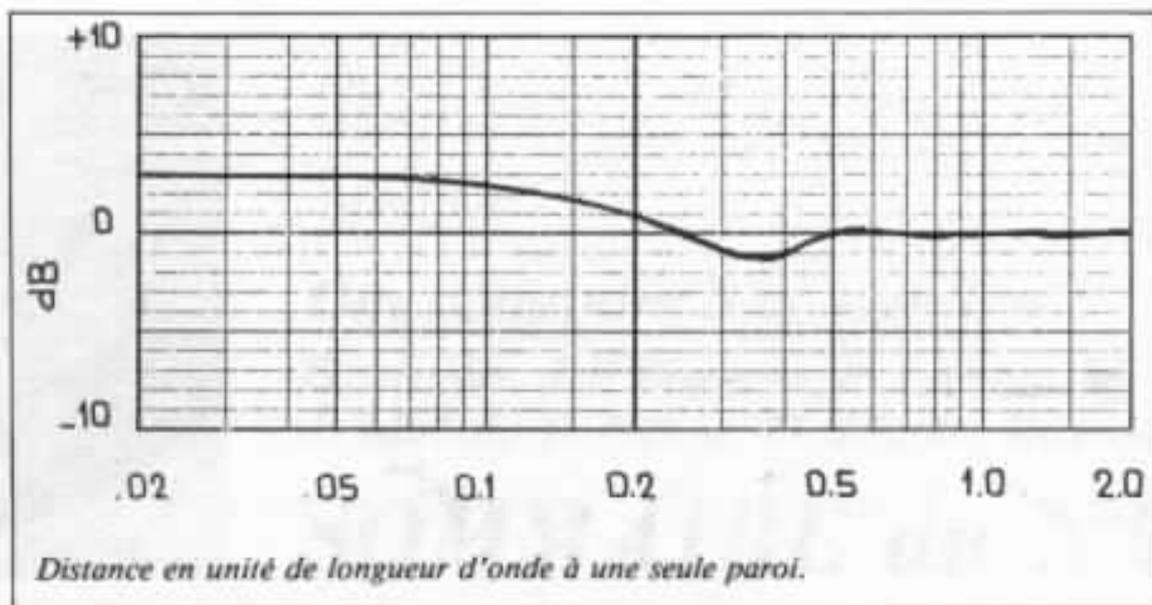


Fig 2

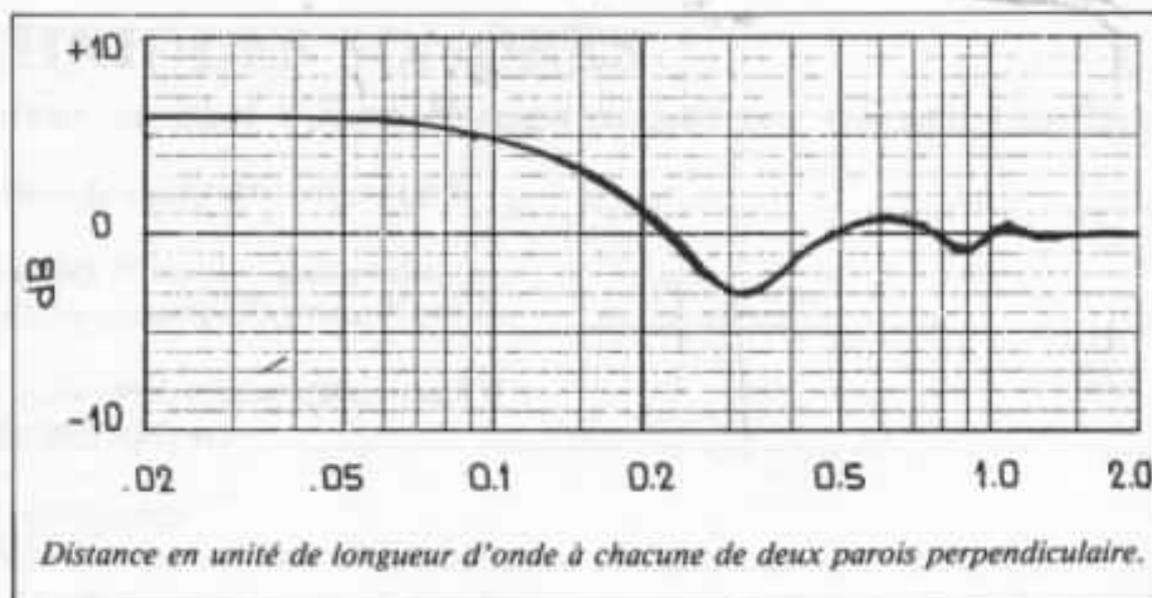


Fig 3

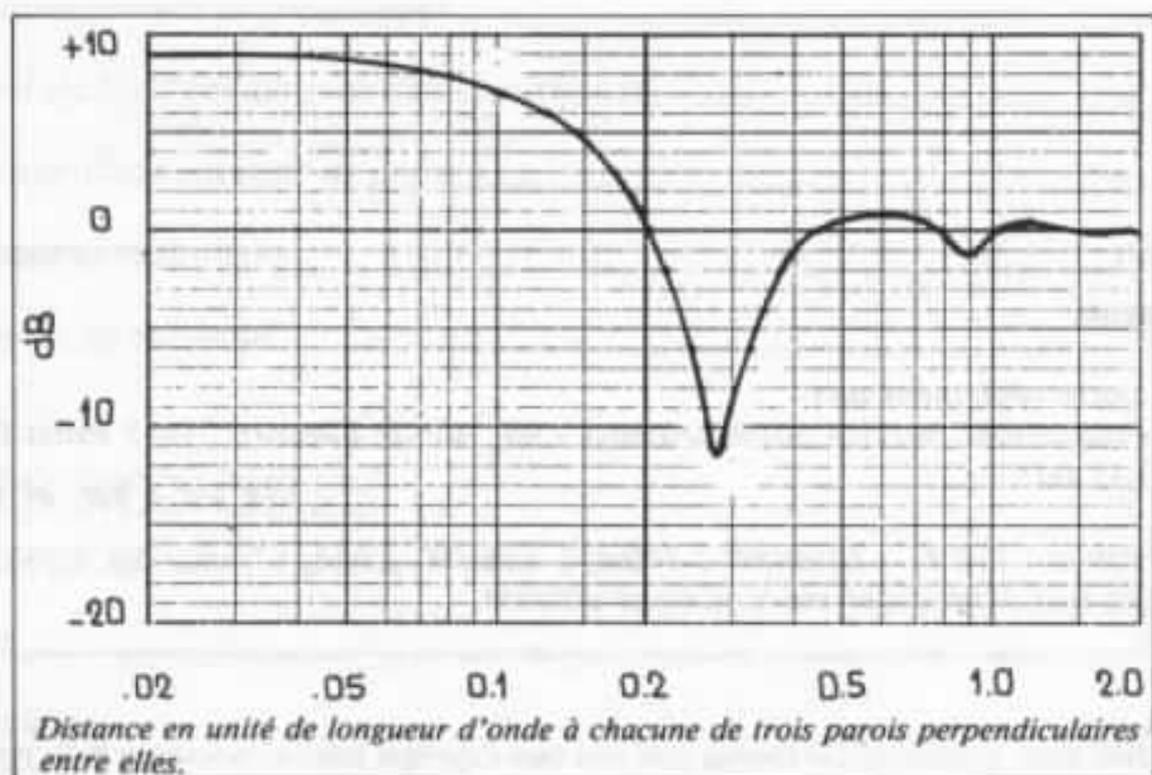


Fig 1 à 3 : Puissance rayonnée par une petite source acoustique placée successivement à proximité de une, deux et trois parois. Le niveau de référence correspond à un angle solide de rayonnement de 4π .

vers le haut-parleur. Cette portion d'énergie s'ajoutera ou se retranchera à l'énergie instantanée liée à la suppression créée par le cône du transducteur. Cela suivant les relations de la phase.

Si une paroi est proche du haut-parleur, la pression réfléchie est suffisamment forte pour modifier la pression instantanée sur le cône de façon significative et amplifier ou atténuer la puissance acoustique rayonnée.

La proximité d'un haut-parleur et d'une paroi n'est pas liée directement à la distance absolue existant entre eux, mais à la distance en unité de longueur d'onde. Ainsi, un haut-parleur peut-être acoustiquement proche d'une paroi aux basses fréquences, pour lesquelles les longueurs d'ondes sont longues, et ne pas l'être aux hautes fréquences dont les longueurs d'ondes sont plus courtes.

Les figures 1 à 3 représentent cette influence. La puissance rayonnée par un haut-parleur dans la bande de fréquences où il n'est pas directif est visualisée en niveau relatif par rapport à celui mesuré en chambre sourde. Le transducteur est placé successivement près d'une seule paroi (fig. 1), à distance égale des deux parois formant un angle (fig. 2) et à distance égale de trois parois perpendiculaires (fig. 3). L'échelle utilisée en abscisse correspond au rapport entre la distance aux parois et la longueur d'onde des diverses fréquences.

Un examen plus attentif de ces courbes apporte d'autres renseignements. Il est clair que l'augmentation de la puissance rayonnée, prévue lorsque l'angle solide d'émission diminue (+3, +6 et +9 dB pour 2π , π et $\pi/2$ stéradians respectivement) ne sont en fait obtenus que si le boomer n'est placé qu'à une faible fraction de la longueur d'onde de la paroi. A une distance de $1/10$ de longueur d'onde, l'augmentation procurée par réflexions sur

les trois parois - cas d'un angle de $\pi/2$ stéradians - n'est que de 7 dB au lieu des 9 dB prévus.

Une distance type entre boomer et paroi la plus proche, dans le cas d'un local domestique est d'environ 50 cm. Ce qui représente le $1/10$ de la longueur d'onde à 69 Hz. Aux fréquences supérieures cet effet d'accentuation s'estompe rapidement, 50 cm devenant une forte fraction de la longueur d'onde lorsque la fréquence croît.

Par ailleurs pour des fréquences plus élevées, l'onde sonore réfléchie par la paroi la plus proche ne revient plus sur le boomer en phase avec l'onde directe, et pour ces fréquences le haut-parleur n'est pas plus efficace qu'il ne l'est dans un espace de 4π stéradians. Le cas est obtenu pour des distances équivalentes au $1/4$ ou au $1/5$ de la longueur d'onde et dépend du nombre de parois rencontrées. Dans notre exemple, avec un haut-parleur de grave placé dans un coin à 50 cm de chaque surface, cette fréquence est approximativement de 140 Hz.

A des fréquences encore supérieures (200 Hz dans notre exemple) le boomer est environ aux $3/10$ de la longueur d'onde des murs. L'onde réfléchie est en opposition de phase avec les déplacements de la membrane. Comme le boomer tente de créer une compression, l'onde réfléchie crée une dépression et vice versa. Le haut-parleur se trouve dans la même situation que s'il travaillait dans un vide partiel. Le niveau rayonné est réduit en conséquence. Toutefois, le taux de réduction n'est pas en relation directe avec le nombre des parois réfléchissantes.

Comme l'indique la figure 1, la réflexion en opposition de phase a un effet minime, le maximum de l'atténuation n'est que de 1 dB, dans le cas d'une seule paroi. Cependant les réflexions

de deux ou de trois parois équidistantes sont beaucoup plus critiques, causant une chute de 3 dB pour π stéradians et un creux très marqué de 11 dB pour $\pi/2$ stéradians par rapport au niveau de référence. La variation globale, incluant l'accentuation de 9 dB dans le bas du registre de fréquence, est de 20 dB pour un transducteur jugé linéaire en chambre sourde.

La figure 4 représente la puissance de sortie en fonction de la fréquence pour un tel système. Celle-ci met en évidence une résonance à 50 Hz et de coefficient de surtension égale à 1. La distance du haut-parleur à chacune des trois parois étant, comme mentionné plus haut, de 50 cm.

Les courbes montrent également que pour des distances supérieures à $5/10^e$ de longueur d'onde, l'effet des parois sur le comportement global devient insignifiant. Dans notre exemple, une distance de 50 cm est le $5/10^e$ de la longueur d'onde à 345 Hz.

Les remèdes

Les figures 1 à 3 montrent que les effets de réflexions multiples en opposition de phase sont loin d'être simplement additifs. Il est donc nécessaire de s'efforcer de placer le boomer d'une enceinte acoustique conventionnelle à des distances aussi différentes que possible de chacune des parois les plus proches. De sorte que les accidents provoqués par les réflexions en opposition de phase se produisent à des fréquences différentes. Quand cela peut être réalisé, l'équilibre et l'uniformité de la réponse en basse fréquence sont grandement améliorés.

La puissance rayonnée en fonction de la fréquence est représentée en figure 5 pour notre système de référence quand le boomer est placé à 20

cm au-dessus du plancher, 51 cm et 122 cm de chacun des murs les plus proches.

Un autre moyen de s'affranchir des effets de parois dans un local domestique est de placer le boomer suffisamment loin de celles-ci. Si il se trouve à 1,25 m au moins, de la paroi la plus proche, toutes les perturbations apparaîtront en dessous de 100 Hz, zones où elles seront moins

audibles qu'elles ne le sont habituellement. Malheureusement, un tel aménagement n'est pas toujours très pratique...

Chacune de ces deux méthodes sont défensives. Elles limitent les dommages, mais ne les évitent pas complètement. Aussi une étude préalable est préférable dans ce cas. Elle consiste à concevoir des enceintes acoustiques fonctionnant en accord avec les

effets de parois de locaux, tirant plein avantage de la possibilité d'accroître l'efficacité aux basses fréquences et aussi de s'affranchir des problèmes de réflexion en opposition de phase. Il y a plusieurs voies pour satisfaire ces conditions, elles ont toutefois en commun les divers critères qui suivent :

1 - Définir si le système est amené à être utilisé à proximité d'une, deux ou trois surfaces mutuellement perpendiculaires. L'équilibre devra être rétabli différemment pour chacun des cas, car, comme nous l'avons vu, l'efficacité varie avec l'angle solide d'émission.

2 - Concevoir l'enceinte de manière à loger le boomer, ou les boomers, aussi près que possible des parois du local.

3 - Utiliser une fréquence de coupure, de sorte que le haut-parleur de grave ne fonctionne qu'en dessous de la fréquence du « creux ». Ainsi l'onde réfléchie sera toujours en phase, et « renforcera » l'onde directe. La réponse en puissance du boomer peut être plate. Il faut noter que cette pratique implique un système à trois ou quatre voies parce qu'un emplacement du boomer à proximité des parois impose une fréquence de coupure faible.

4 - Ensuite, placer le haut-parleur de médium dans l'enceinte suffisamment loin de l'intersection des parois de façon à ce qu'il soit à une distance d'au moins la moitié de la longueur d'onde de la fréquence de coupure. Ainsi la réponse du médium, et du tweeter, peut-être plate et non affectée par les surfaces du local.

Quelques enceintes acoustiques conçues en accord avec ces principes existent. Nous sommes persuadés que d'autres utiliseront ce principe dans un proche avenir.

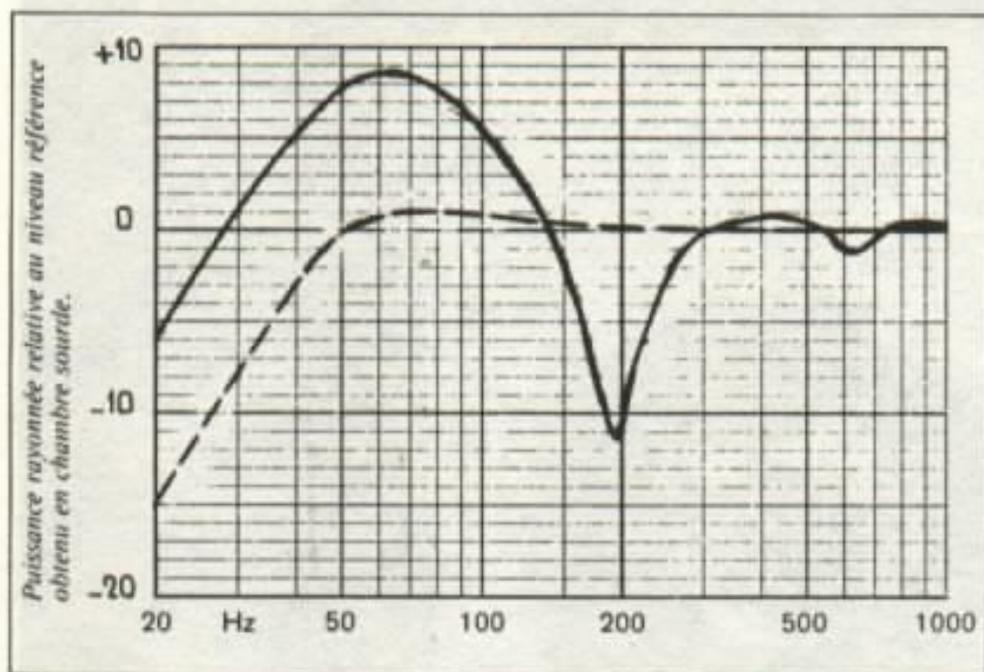


Fig 4 - Réponse d'un transducteur de haute qualité en chambre sourde (ligne pointillée) et réponse du même système avec un boomer placé à 50 cm d'une encoignure constituée par trois parois perpendiculaires (trait plein).

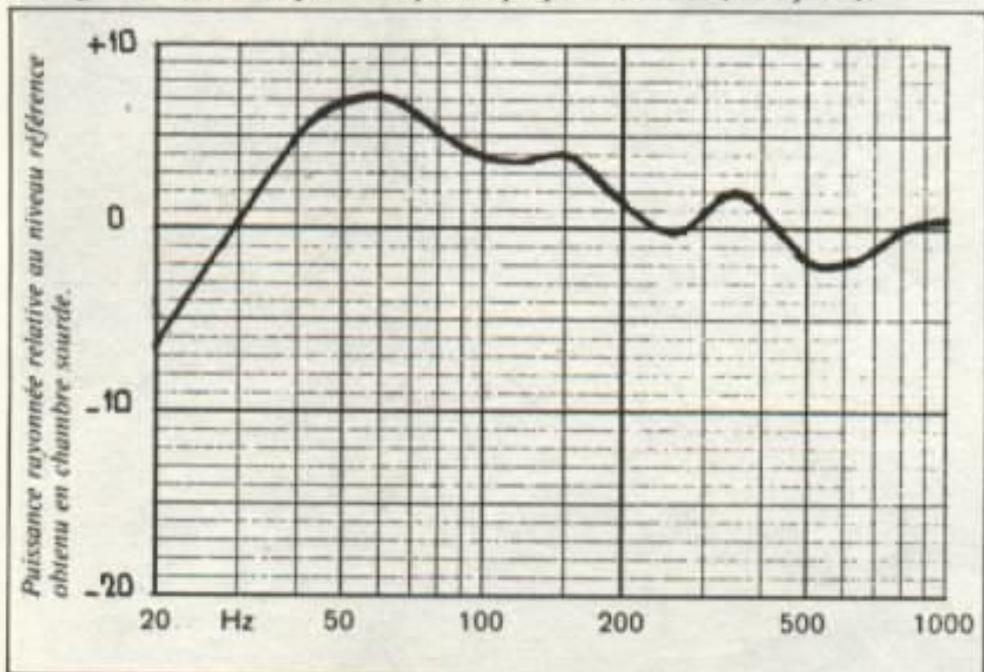


Fig 5 - Réponse du même système qu'en figure 4, mais avec le boomer placé à 20 cm du plancher, 51 cm et 122 cm des deux autres parois les plus proches.



Réalisation d'une enceinte de grave

Yves Neveu.

Comme nous l'avions promis dans la première partie de cet série d'articles consacrée à la restitution des basses fréquences, voici la description d'une enceinte acoustique de grave facilement réalisable, d'un coût et d'un encombrement modéré. En préambule, l'auteur a tenu à évoquer certains aspects qui lui tiennent particulièrement à cœur, et qui sont pour la plupart, à contre courant des arguments utilisés couramment en marketing...

Avant d'en venir à la réalisation d'une enceinte grave présentant le meilleur rapport volume/rendement/qualité, je voudrais revenir sur une idée qui m'apparaît comme étant très importante. Alors qu'une certaine presse voudrait affirmer que fabriquer une enceinte haute-fidélité relève purement des mathématiques et que grâce à l'informatique il suffirait de mettre les données dans un ordinateur pour obtenir une enceinte haute-fidélité parfaite. Il est aisé de démontrer que l'on n'en est pas encore là.

La première raison, qui est bien suffisante, est que les connaissances de la perception des sons sont mal définies sur le plan de la physiologie, il est donc impossible de savoir quelle est la meilleure façon de « leurrer » l'oreille.

La seconde vient de la technologie des haut-parleurs et de leur modèle mathématique. Si les tentatives de créer un modèle mathématique peuvent être intéressantes au niveau de la réflexion afin de bien voir dans quel sens varient certains para-

mètres - à ce niveau, le modèle peut servir de garde-fou pour éviter de tomber dans le paradoxe - ce modèle mathématique aboutit à une trop grande simplification des données liées à la technologie même.

Prenons un exemple précis, la compliance d'un haut-parleur dont la membrane est déterminée. Cette compliance - sur baffle infini - dépend de la rigidité de la suspension arrière (spider) et de celle de la suspension avant (bord de la membrane). A compliance égale, la rigidité du spi-

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

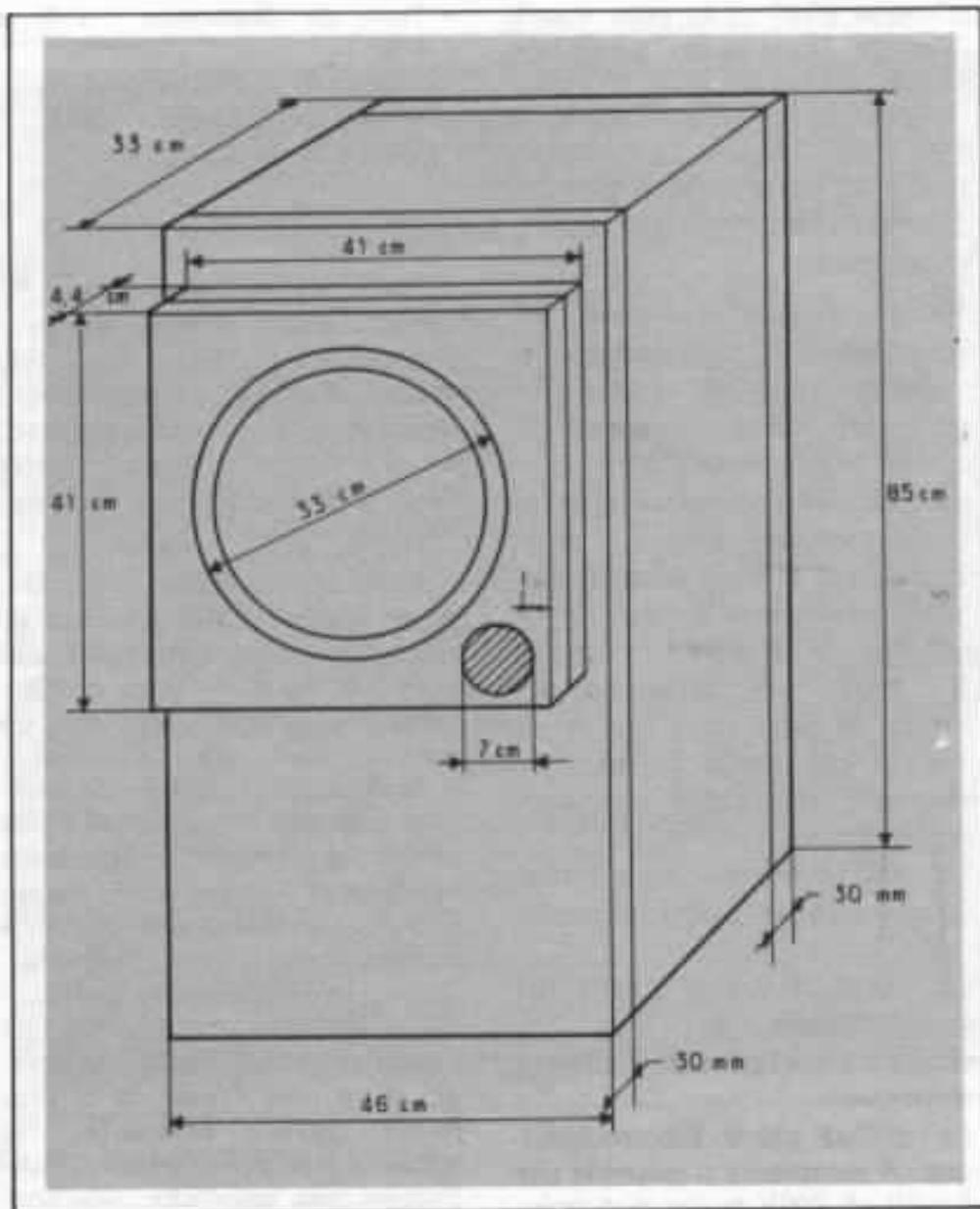


Fig. 3 : Forme et dimensions de l'enceinte.

Lorsque l'évent est trop petit, la résonance F_r tend à augmenter d'amplitude le Q_s également et cela risque de produire une coloration dans la région des 60 Hz.

Prenons maintenant le cas d'un évent trop grand. F_2 diminue d'amplitude mais cette diminution n'est pas un avantage car la fréquence F_r augmente et la résonance tombe alors dans une zone où l'oreille est plus sensible.

D'autre part, l'amplitude de F_1 augmente considérablement. Le haut-parleur sera mal amorti dans l'extrême grave. Non seulement le son sera mauvais, mais le transducteur risque de s'affoler, excité par les résonances de

l'ensemble bras-cellule, le rumbly de la platine, lors d'écoute à haut-niveaux.

Les événements trop grands sont beaucoup utilisés sur les haut-parleurs de sonorisations où le risque d'affolement est réduit de par la raideur des suspensions des haut-parleurs utilisés.

Le gain procuré en rendement par un évent trop grand est obtenu au détriment de la netteté. L'écoute d'un système type «Voix du Théâtre» Altec, met ce point en évidence. Ce défaut constitue une des raisons de la contestation du son délivré par des haut-parleurs de technique

des haut-parleurs dont la technique est dérivée de ceux utilisés pour le cinéma.

Il faut voir là une des raisons qui fait critiquer les systèmes à haut rendement et expliquer le développement des systèmes à bas rendement en haute-fidélité au cours de ces quinze dernières années, lesquels arrivent, il faut l'avouer, à une impasse à l'heure actuelle. Il est d'ailleurs frappant de constater que la plupart des constructeurs reconsidèrent le problème en s'orientant à nouveau vers des rendements élevés.

Si toutes ces considérations générales sont intéressantes, il est néanmoins impératif de vérifier l'efficacité du raisonnement sur un plan pratique. Nous allons décrire l'enceinte destinée à la reproduction des basses dont nous avons fait mention dans le précédent numéro.

Construction de la boîte

L'enceinte en question présente une originalité dans sa réalisation. Plutôt que d'utiliser un seul matériau, trois structures différentes ont été employées. Tout d'abord un latté de bonne qualité dont les diverses lamelles doivent présenter une excellente continuité sans « alvéoles ». Ensuite, un aggloméré très dense, 700 g du dm^3 et enfin un contre-plaqué très rigide de 30 mm, d'un type semblable à celui utilisé dans la réalisation des enceintes de grave Onken.

Cette discontinuité des matériaux engendre des vitesses de propagation du son différentes, et permet de diminuer les résonances de la boîte, dues à l'établissement de modes de vibration sur certaines fréquences bien privilégiées.

Le latté est utilisé pour fabriquer les côtés, le dessus et le dessous sont en aggloméré. Pour

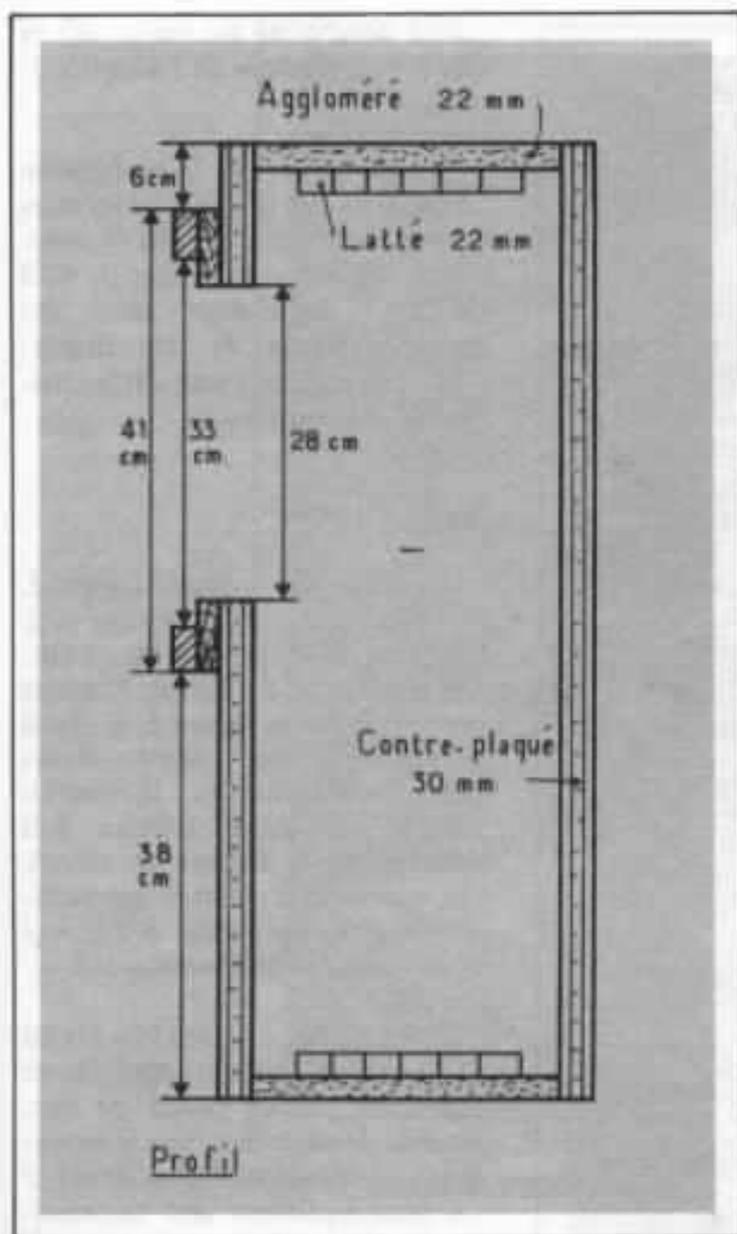


Fig 4 : Coupe verticale et des structures de matériaux.

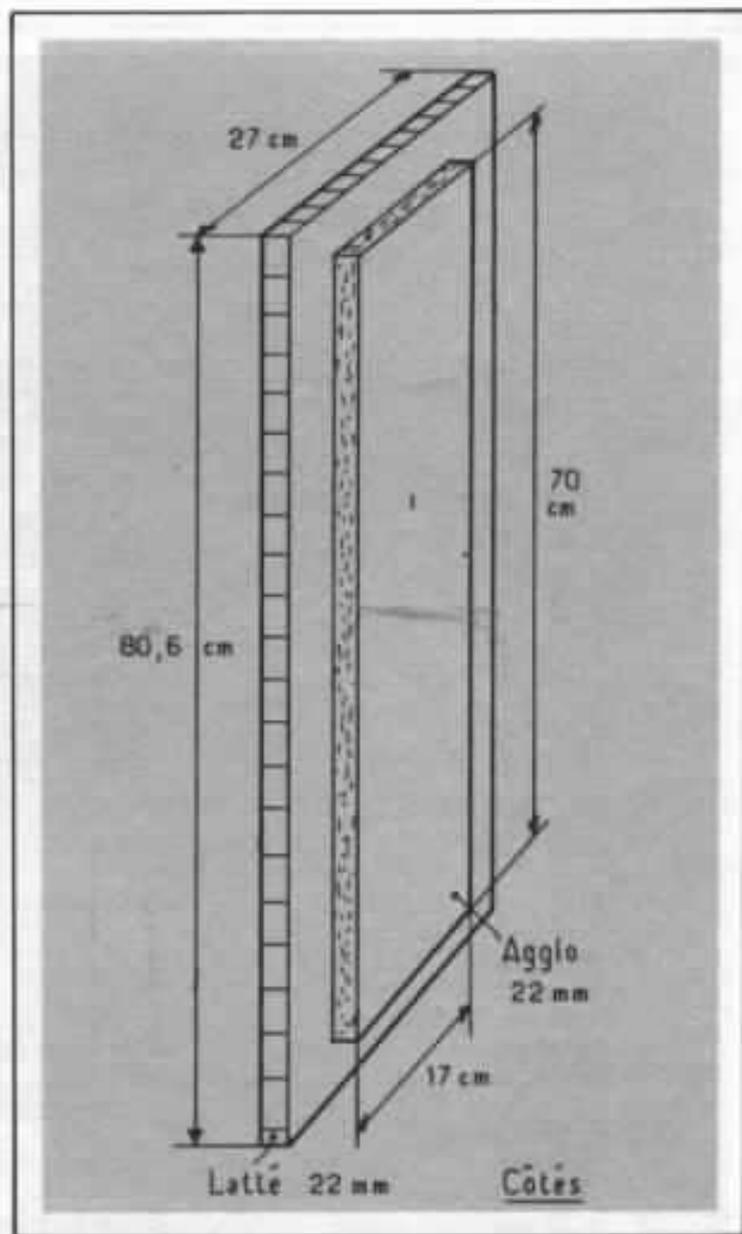


Fig 5 : Détails des panneaux latéraux.

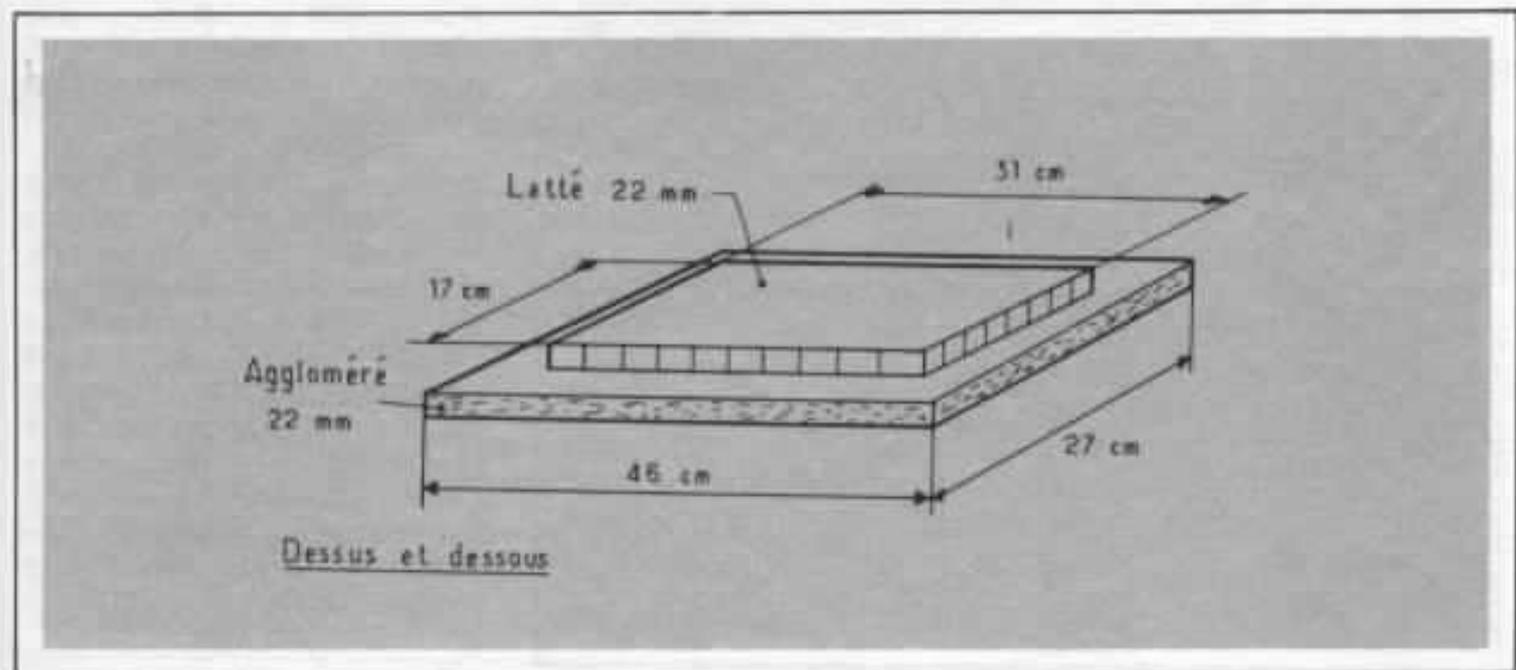
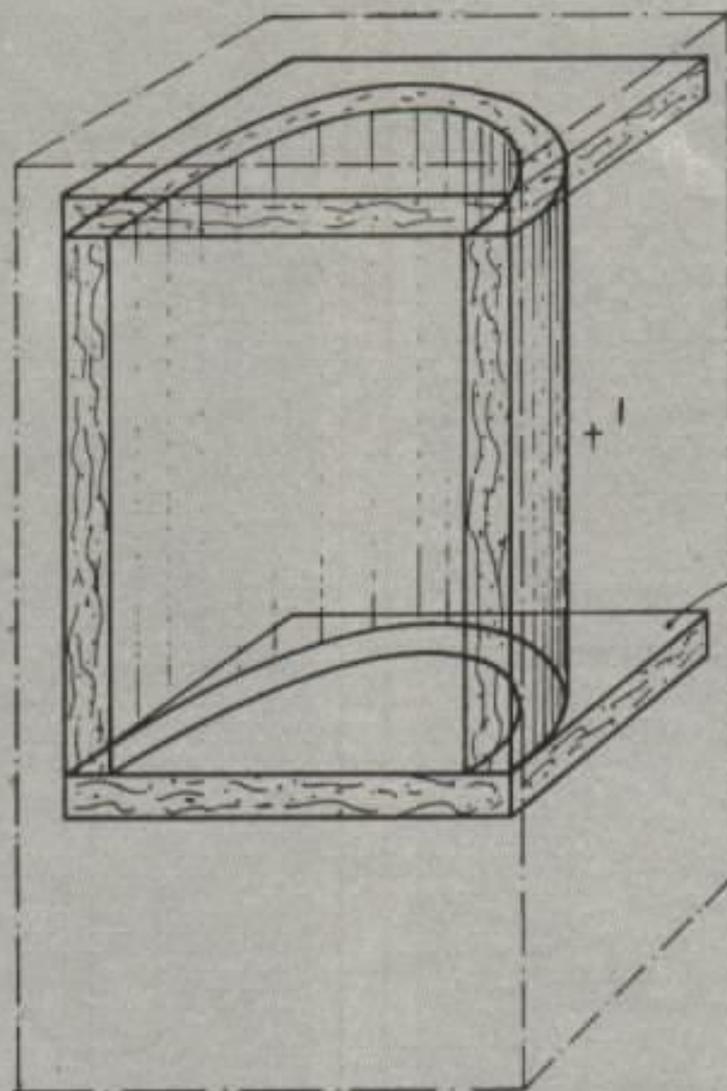
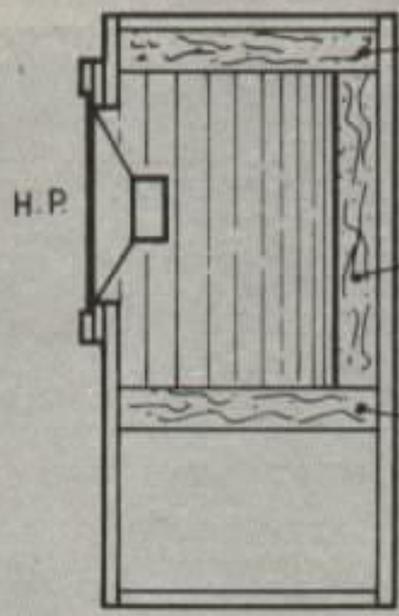


Fig 6 : Détails du dessus et du fond.



Cloison de laine de verre agrafée au 2/3



Laine de verre

Laine de verre placée en demi-cylindre

Cloison de laine de verre agrafée aux bords de l'enceinte

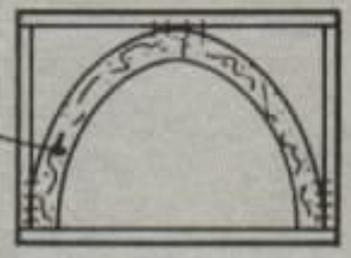


Fig 7 : Disposition du matériau amortissant.

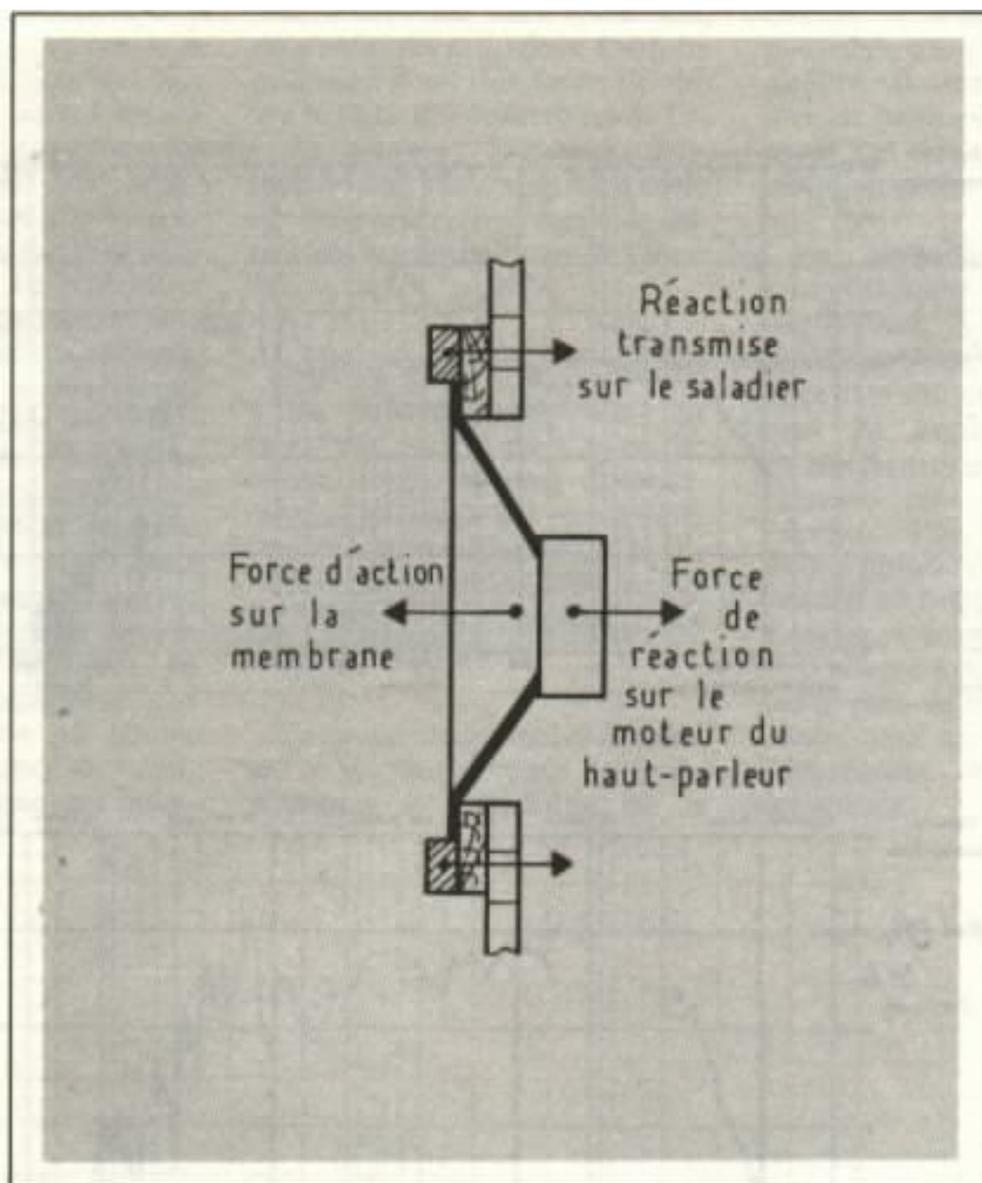


Fig 8 : La fixation du haut-parleur au baffle, mettant en évidence l'importance de l'inertie de celui-ci.

améliorer encore l'amortissement, l'aggloméré est plaqué sur le latté et inversement du latté est plaqué sur l'aggloméré (fig. 4, 5, 6).

Cette technique de fabrication peut paraître complexe mais la rigidité d'une enceinte n'est jamais trop grande. Il faut profiter des réalisations personnelles où le facteur poids n'est pas prépondérant, pour conférer d'excellentes caractéristiques mécaniques à l'ensemble.

Le bloc de bois utilisé pour la fixation du boomer est constitué de deux couches d'aggloméré contre collées de 22 mm chacune soit une épaisseur de 44mm.

Le rôle de cet ajout n'est pas de rattraper un décalage de phase qui reste illusoire, mais d'assurer au haut-parleur un maximum d'inertie. Car les forces d'action et de réaction étant égales lorsque la membrane subit une accélération, le moteur est soumis à une force de réaction qui est transmise au bord du saladier par les pattes, fig 8. Le bord du saladier met à son tour en vibration le panneau avant de l'enceinte qui transmet à son tour les vibrations à l'ensemble de celle-ci. Le bloc utilisé, par sa masse et donc son inertie, diminue considérablement l'amplitude de l'onde propagée. De plus

la discontinuité des matériaux assure une meilleure absorption...

Il est important de remarquer que, outre les vibrations apportées par la pression de l'air dans l'enceinte, il existe une énergie vibratoire pratiquement égale transmise directement au baffle par le saladier du haut-parleur.

Dans la réalisation pratique, le haut-parleur utilisé est le 33 cm Siare TE. qui en dehors de ses qualités acoustiques a l'avantage d'avoir un saladier très rigide avec un bord massif qui favorisera le couplage au bloc de bois.

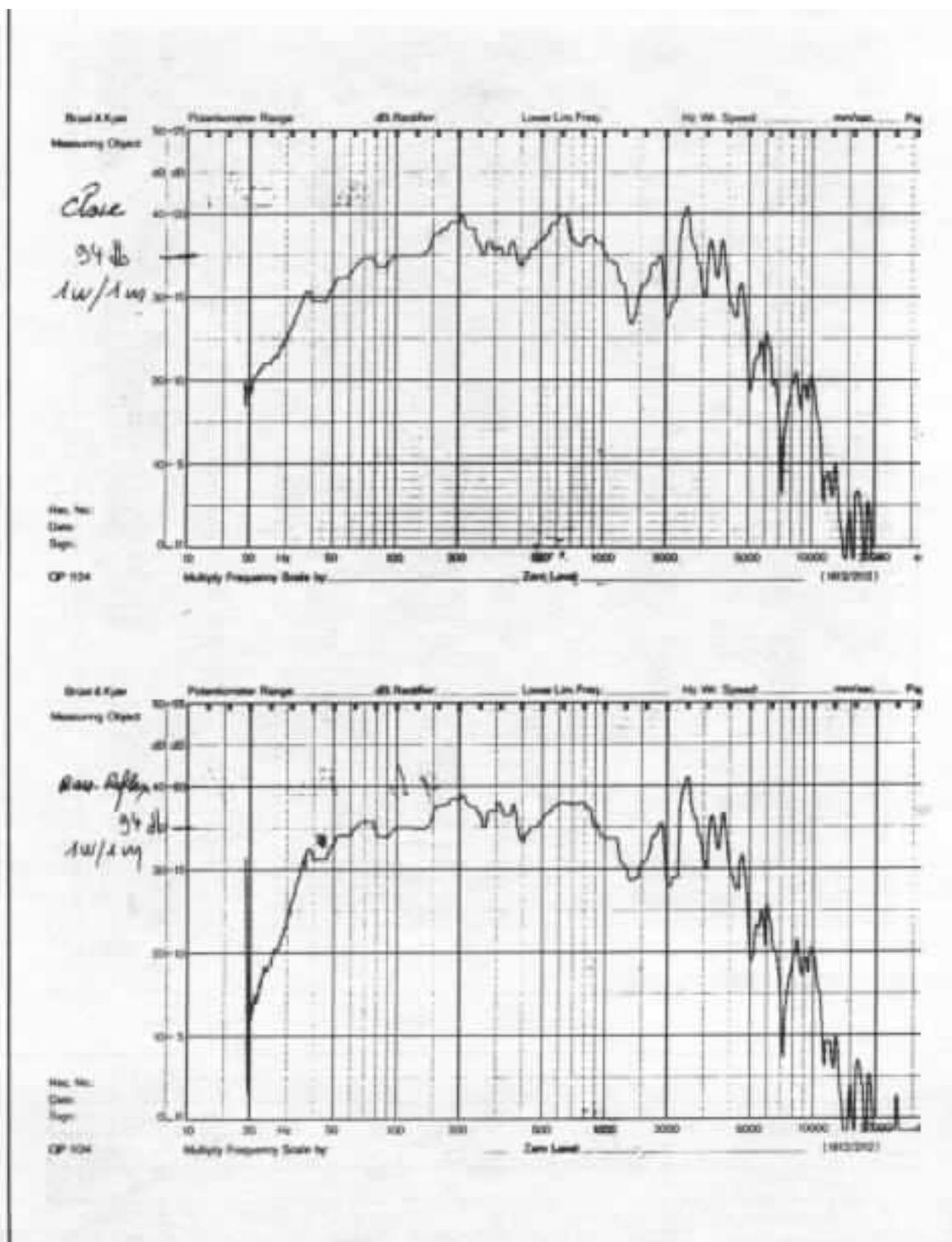


Fig 9 : Courbes de réponse de haut en bas, enceinte close et bass reflex.

Venons en aux résultats (fig 9). Malgré un volume très raisonnable, les courbes de réponse nous montrent que le rendement à partir de 80 hertz est du minimum de 94 dB pour 1 Watt à 1 mètre. La réponse à 40 hertz est à moins 4 dB c'est-à-dire que le rendement est alors de 90 dB pour 1 watt à 1 mètre. La courbe de réponse du système clos

(fig. 9 d), montre une différence de rendement sensible, laquelle est accompagnée d'une augmentation très nette de la distorsion.

Qualités d'écoute

Lorsque l'élément de grave est associé à des haut-parleurs de

médium aigu à haut rendement à l'aide d'un filtre adéquat (ces éléments seront décrits dans un prochain article) ce qui frappe à première écoute c'est une très grande transparence de tout le registre grave et médium. Le son ne donne nullement l'impression de sortir d'une caisse. La source sonore est virtuelle avec un grand étalement en profondeur.

Cette restitution de l'espace sonore est directement liée à la prise de son et ne provient pas d'un rayonnement dans l'espace particulier dû au rayonnement spatial du système de haut-parleur. Ce point est très important car il est beaucoup plus heureux de rendre la réverbération d'une bonne salle de concert que de tenter de solliciter la réverbération de la salle d'écoute, ce qui entraîne un flou dans les informations musicales. Pour ceux qui ont eu l'occasion d'entendre ou de réaliser l'élément de grave du système Onken et qui en aime la sonorité, nous dirons que ce reproducteur de grave va dans la même direction. Lorsque la modulation ne comporte pas d'information grave on ignore totalement la présence de celui-ci. Par contre lorsque des infor-

mations graves sont présentes, elles sont très articulées. Dans un orchestre il est très facile de suivre la ligne des contrebasses. Les vents graves : bassons, tubas, trombones, etc... sont bien séparés des cordes, il est facile de distinguer les timbales de la grosse caisse.

Si l'on écoute la restitution d'une batterie on est frappé par la grande variété du timbre, les caisses sont restituées distinctement et la frappe des peaux varie constamment d'intensité et de timbre, ce qui de ce point de vue se rapproche beaucoup de l'écoute du direct.

Ceux qui seront tentés de réaliser ce système devons faire très attention à l'ensemble de la

chaîne. L'amplificateur devra posséder un grave d'excellente qualité. Il serait ridicule de se donner beaucoup de peine pour avoir des basses nettes si l'électronique pêche sur ce point.

Le rendement étant élevé, l'amplificateur Hiraga de 20 watts classe A devrait parfaitement s'adapter. Il faudra aussi faire très attention à l'ensemble bras de lecture-cellule-platine, les résonances du bras et le larsen pouvant ôter toute netteté à l'écoute. Pour conclure nous dirons qu'un système à haut rendement est beaucoup plus délicat à régler. Lorsque l'ensemble est bien adapté à une pièce, il donne sur le plan de la musique, particulièrement en ce qui concerne l'expression, des résultats bien supérieurs.

**Page non
disponible**

Audiophile et Mélomane

Une approche de l'écoute

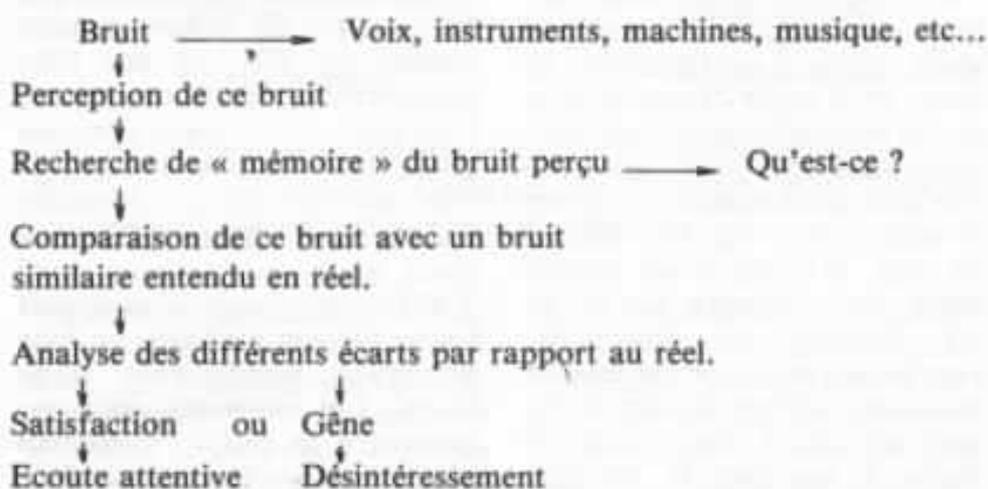
Jean-Pierre Bugnard

Face à la musique, au bruit, si celui-ci est agréable, l'auditeur peut avoir plusieurs comportements distincts. Si l'émission sonore est réelle, j'entends par là que l'auditeur « voit » l'émetteur du son, celui-ci sera bien évidemment très concerné, accroché par ce qu'il voit et ce qu'il entend. cet aspect de contact visuel entre « émetteur » et « récepteur » est totalement différent de l'écoute « sans vision » car elle suppose au premier degré intérêt, accord, et connivence. S'il s'agit d'un concert ou d'un opéra il y aura nécessairement intérêt du fait même du choix de l'auditeur qui, alors, en aura payé le droit d'entrée. L'accord peut ne pas exister du fait de l'interprétation mais cela sera rare du fait du choix initial qui toujours en revient à l'auditeur. Connivence : certainement, ceci découlant des mêmes raisons que précédemment.

Dans ces lignes, nous allons décortiquer l'écoute « sans vision ». C'est cette écoute qui nous intéresse car l'audition de toute l'installation électro-acoustique met en jeu un processus extrêmement complexe. Nous allons l'étudier sur les deux cas qui nous préoccupent dans cette revue : soit du point de vue de l'Audiophile, soit du point de vue du Mélomane.

L'Audiophile

Pour l'Audiophile, le processus est généralement le suivant :





L'Audiophile. Celui-ci, passionné de technique, mettra tout en œuvre pour satisfaire son exigence du «beau bruit».

Le cheminement de l'Audiophile pourra donc être celui-ci dans les grandes lignes. On peut ajouter en outre qu'au désintéressement il y a critique et que cette critique peut être constructive (modification de l'installation, de son emplacement, de ses réglages...) et ce, pour arriver à la satisfaction. La recherche de la satisfaction pour l'audiophile passe par les divers points suivants:

Recherche de la vérité des timbres par rapport à l'audition réelle qu'en a eu l'auditeur (à partir d'ici toute l'étude se fera sur un message sonore musical); nous nous trouvons déjà confrontés à notre mémoire auditive et celle-ci n'est pas très fidèle; de plus, et jusqu'à un certain point, notre cerveau qui est en fait l'organe de l'audition, l'oreille n'étant que le système de transfert, palliera en fait à des manques ou à des ajouts de façon à accepter le message

sonore tel qu'il est émis ou perçu.

Il faut donc une certaine habitude et un certain sens critique pour ne pas se laisser abuser par soi-même. Cette recherche de la vérité des timbres sera donc un des premiers éléments qui sera intégré par notre « auditeur ».

En corollaire à cela : la neutralité, une installation électro-acoustique se devra d'être neutre le plus possible. Elle ne devra pas faire passer un violon sonnante comme un alto, ou une flûte indiscernable d'un hautbois; l'exemple est volontairement grossi mais combien de fois n'a-t-on entendu de ces enceintes redondantes dans l'extrême grave, en fait aux environs de 60 à 70 Hz, déformant d'autre part les fréquences médiums ou bien devenant métalliques dans l'aigu. Ces variations sont par rapport à la réalité, incompatibles avec la neutralité bien sûr.

Ensuite, approche de plus en plus précise de la réalité, c'est-à-dire perception d'éléments presque indiscernables : l'attaque de l'archet sur la corde, l'impact du maillet sur la peau de la timbale, le doigt sur la corde de guitare.

Ces exemples doivent être pris non pas comme impression, c'est, dirai-je, sous-jacent : on doit le percevoir mais non l'entendre. Cette notion de «transitoire d'attaque» est extrêmement importante. Elle permet, avec les harmoniques produites par un instrument considéré de déterminer celui-ci.

Puis, réalité de la chose enregistrée. Un orgue s'entend dans la nef de l'église, au sol, il y a des points privilégiés pour l'écoute en vraie grandeur, de nature devrais-je dire. Donc, pas d'impression de finesse, de transparence telles qu'il est impossible de l'entendre en réel, ce point est très subjectif, mais il

est encore actuellement absolument pas compris par le preneur de son. En exemple de ce que j'avance, le disque des œuvres de Bach, Buxtehude, Walther enregistré à l'église Saint Maximin de Thionville par un des meilleurs preneurs de sons actuels : Georges Kisselhoff pour la Maison Audiotec dans la collection Sarasto, est véritablement parfait quant à la prise de son. L'orgue est fin, brillant, somptueux, mais en même temps, tout l'édifice dans lequel il est enregistré y participe. Il n'est pas question ici de chambre d'écho, ce disque est, dans la production standard si je puis dire, bien qu'il tourne en 45 tours minute, une réussite absolue quant à la vérité de l'instrument dans son contexte.

L'orchestre symphonique doit être plein, ample, vrai. Il ne doit pas donner l'impression de confusion, j'entends par là que la vérité de l'enregistrement doit être parfaite : la stabilité spatiale étant pour l'Audiophile un test primordial. Dans la presque totalité de la production actuelle existe un état de faits qui frise l'inconscience. Alors qu'une paire de micros bien utilisés fait merveille on enregistre en 8, 16 ou même 32 pistes, si bien que l'on a l'impression d'entendre l'attaque du violoncelle à un endroit où il ne se trouve pas, puisque l'on entend ensuite l'instrument à une autre place ; ceci étant valable pour tous les instruments de l'orchestre ; pourquoi ? Parce qu'il est impossible de mettre ces 8, 16 ou 32 pistes sur les deux flans d'un sillon sans commettre des erreurs de phases qui seront catastrophiques à l'audition, et nous donnerons cette impression de malaise due à l'instabilité spatiale. Enfin, un trio à cordes ne doit pas donner l'impression d'être enregistré dans une cathédrale mais au contraire dans une petite salle avec juste ce qu'il faut de réverbéra-

tion pour homogénéiser le message sonore.

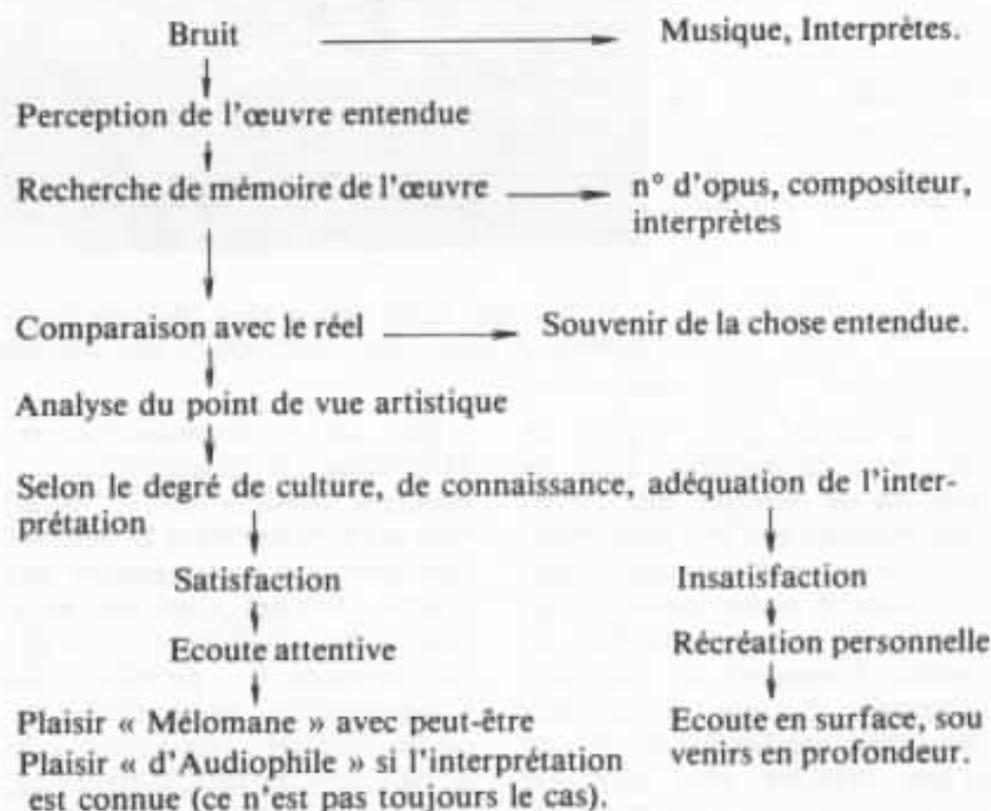
Pour terminer : réalité dans la dynamique. Respect de la sonorité des instruments. Un clavecin en basse continue sonnait aussi fort qu'une trompette est d'un ridicule achevé. Il est évident que la dynamique de ces deux instruments étant aux antipodes, ils sont difficiles à stocker dans le disque. Nous avons cependant des exemples rares il est vrai, de réussite en ce domaine.

Vous pouvez vous reporter au Rinaldo de Haendel de C.B.S. enregistré à Notre Dame du Liban à Paris. Un piano sonnait tel qu'en concert, est peut-être délicat à graver, mais le reproduire avec la dynamique d'un clavecin revient à annuler deux siècles de recherches tendant à amener cet instrument au point où nous le connaissons

aujourd'hui et que les Italiens appellent « Pianoforte ». Et enfin, reproduire le « volume sonore ». Les transducteurs ne seront pas des émetteurs ponctuels mais devront donner au maximum le volume à la chose enregistrée : largeur et profondeur. Pas d'effet de ping-pong mais une surface sonore, pas d'écrasement de la profondeur tendant à ramener le triangle sur le même plan que le violon solo d'un concerto...

Le Mélomane

Pour le Mélomane le cheminement vers la réalité sera en gros celui de l'Audiophile, mais avec un sens plus critique, par certains côtés il sera moins concerné par la vérité du son alors qu'il sera extrêmement attentif à la fidélité de l'interprétation. Le synoptique peut être le suivant :



On remarque aussitôt, si l'on compare le tableau ci-dessus à celui de l'Audiophile, que le Mélomane recherchera non pas le « beau bruit » mais la « belle interprétation ». C'est celle-ci

qui conditionnera sa satisfaction, qui le rendra attentif à l'émission sonore. D'autre part, il se sentira différemment concerné suivant la musique écoutée. Son comportement ne sera-



Le Mélomane. Il ne sera atteint, dans sa passion, que par la Musique et celle-ci ne l'accrochera que par son côté « artistique ».

pas le même qu'il s'agisse de chanson, de musique pop, de jazz ou de musique dite classique, quelque soit son goût musical. Un amateur de musique pop sera touché d'une manière plus physique qu'intellectuelle de même, l'amateur de classique (j'entends musique de l'époque classique) participera à l'écoute d'une manière plus cérébrale qu'affective au contraire de l'amateur de la musique de l'époque romantique. De plus, l'écoute sera différente selon « l'état d'âme » du moment, celle-ci sera ressentie différemment et l'auditeur sera plus ou moins attentif.

Dès lors le cheminement du Mélomane se transformera en écoute « intelligente » : c'est-à-dire qu'il recherchera la conformité avec une interprétation qui l'aura marquée, qui lui aura plu ; cette conformité à l'original touchera aux problèmes de l'interprétation que le musicien, ou les musiciens auront voulu de la partition du compositeur. La sensibilité, la retenue, l'extériorisation, un certain détachement ou au contraire un engagement très prononcé auront sur lui un effet très important. Son sens critique sera mis en éveil et il acceptera plus ou moins les options prises par les musiciens

entendus. Par ailleurs, pour une œuvre inconnue de l'auditeur il y aura de la curiosité, de l'intérêt ou bien même un sentiment d'exacerbation s'il n'y a pas de liens permettant de raccrocher l'œuvre à un nom ou plus, une certaine frustration s'il n'arrive pas à en connaître l'origine (cas d'une œuvre entendue à la radio).

Ensuite pour une œuvre bien connue existera une approche de plus en plus serrée de la restitution de l'œuvre par l'interprète. Allant au fond des choses le Mélomane demandera le choix de l'instrument pour l'œuvre donnée, « le choix du Musicolo-

gue », l'interprétation « authentique » sur des instruments correspondant aux instruments de l'époque de la composition, l'ornementation de l'œuvre musicale si, à l'époque de la composition, celle-ci était laissée au « goût » de l'interprète. Ce parti-pris de vérité historique : voix d'enfants, de haute-contres, de contre-ténors sera exigé pour des œuvres vocales. L'épuration des partitions, la recherche de compositions écrites de la main de l'auteur ou bien la gravure de l'édition originale. Nous trouvons actuellement de plus en plus d'œuvres recréées, si l'on peut dire, grâce aux instruments d'époque. Il n'est qu'à écouter les versions si différentes des cantates de Bach par le *Concentus Musicus* de Vienne ou par le *Léonhardt Consort*, les versions « nettoyées », des œuvres de Haendel que Mozart ou d'autres ont plus ou moins mises au goût de l'époque, et même de Mozart sur un piano Schantz somptueux et collant bien mieux aux compositions que nos Yamaha, Steinway ou Bösendorfer actuels. Il y aura toujours place pour une

ultime version et bien qu'il existe trente quatre versions de la 5^e symphonie de Beethoven, rien n'empêche qu'il y en ait de nouvelles. Cela prouve simplement que, ne serait-ce que pour l'éditeur ou le musicien, la version de référence, la leur, n'existe pas encore.

Puis, au dernier point, l'Auditeur ayant la connaissance de la science musicale : lecture de la partition, pratique d'un instrument, son cheminement ira tout au fond des choses et s'il a une connaissance approfondie de l'œuvre écoutée, de son compositeur, il pourra au maximum se passer de la musique en tant que message et n'avoir plus que pour tout moyen « d'audition » une partition et se faire, lui même et dans le silence, sa propre version de référence en fonction de ses goûts et ne plus avoir besoin d'interprètes entre le compositeur et lui. L'idéal en somme. Là nous retrouvons bien évidemment toute la différence entre le Mélomane et l'Audiophile.

Pour l'Audiophile il est nécessaire d'avoir un support et ce

support doit être le plus performant possible de façon à ce que le plaisir soit maximum. Pour le Mélomane le support peut être, à la limite, entaché de défauts très graves, il s'en contentera si l'interprétation est parfaite. Mais finalement peut-on avoir un Audiophile pur et un Mélomane pur ? Je ne le crois pas. Ils s'interpénètrent entre eux et le plaisir du Mélomane se déculpe du fait d'une audition très proche de la réalité, tandis que l'Audiophile pénètre plus avant dans la musique du fait d'une interprétation hors pair.

Cette interpénétration des Deux Ecoutes est actuellement encore incomplète ; mais depuis bientôt vingt ans que la pratique de l'écoute musicale en haute fidélité existe on remarque de moins en moins de frontière ou plutôt celle-ci est de moins en moins définie : le Mélomane devient progressivement plus exigeant quant à la beauté du son et l'Audiophile se familiarise avec la musique. L'écoute répétée de disques ou de supports musicaux tendant vers la perfection participe à son éducation musicale.

**Page non
disponible**

L'approche du subjectif

L'évaluation des qualités acoustiques des salles

Gustavo Altieri

L'acoustique architecturale est, de nos jours, une partie de la discipline des sons qui se trouve très proche de l'acoustique physique. Bien que l'acoustique architecturale, ses principes et ses méthodes puissent être appliqués à tous types de constructions ; c'est dans les lieux publics consacrés à la diffusion de la musique ou de la parole qu'elle trouve sa vocation principale. Les spécialistes ont donc développé, des méthodes très sophistiquées pour la conception des grandes salles ; le calcul, les systèmes de mesure traditionnels sont complétés par des études de maquettes et simulation par ordinateur. Cependant, les conditions finales sont testées par un instrument tout-à-fait différent : les oreilles des auditeurs et des musiciens.

Les architectes grecs ou romains ont réussi à construire des théâtres qui continuent à nous étonner de par la perfection de leurs propriétés acoustiques. Or, ils ne comptaient à l'époque, qu'avec deux instruments fondamentaux : la géométrie et l'oreille. En ajoutant à ceux-ci l'expérience acquise « sur le terrain » qui a été à l'origine des modifications et perfectionnements successifs, nous trouvons la clef de la concrétisation d'une idée précise : adapter les locaux

aux conditions d'écoute des auditeurs.

A notre époque, malheureusement, un nombre non négligeable « d'hommes de métier » ont plus confiance dans les appareils de mesure que dans leurs propres oreilles... et pourtant la musique que l'on diffusera dans la salle est destinée aux récepteurs humains et non pas à un public de microphones assis dans les fauteuils. Ce problème, dont l'importance est évidente, nous a

motivé à étudier le rapport existant entre les propriétés physiques de salles de concert et l'appréciation subjective de leurs qualités, sur la base de quelques exemples précis.

Nous signalons aussi, que les conditions physiques sont liées au type de musique interprétée, au nombre de musiciens et à leur distribution spectrale ; paramètres qui s'imbriquent avec la directivité des instruments et avec les caractéristiques des

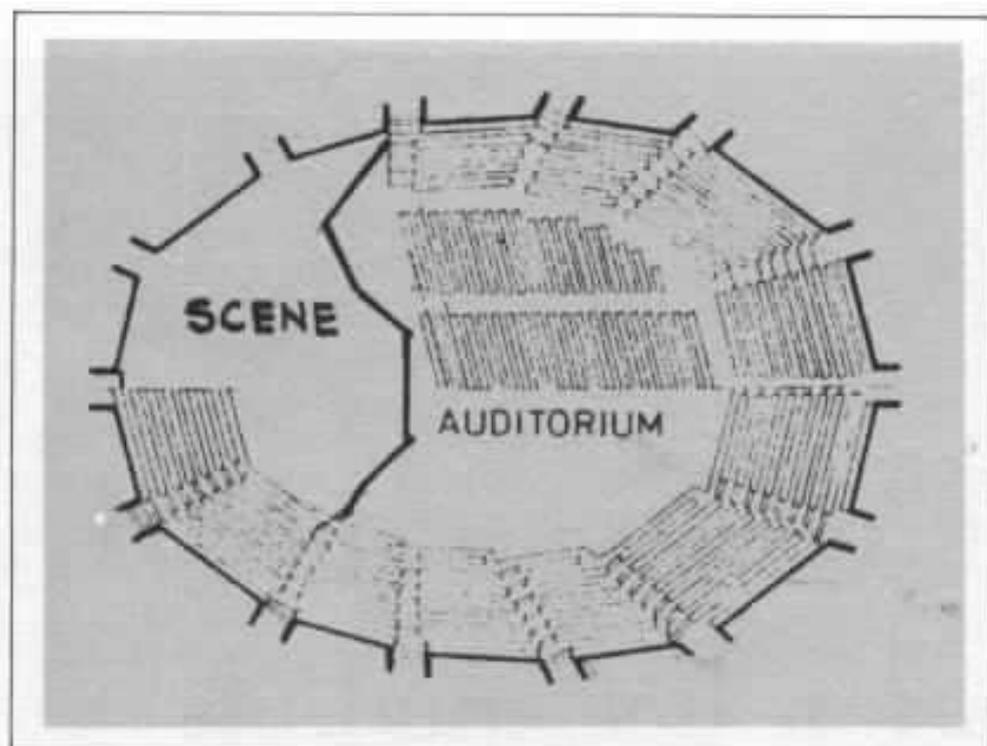


Fig 1 : Plan général du Christchurch Town Hall.

signaux émis. Cependant, il ne faut pas oublier qu'une salle de concert doit permettre une disposition des auditeurs compatible avec les exigences d'ordre visuel. Nous nous trouvons donc dans le besoin de respecter simultanément les lois de basse de l'acoustique et de l'accoutumance visuelle, tout en prévoyant les déplacements du public dans des conditions normales ou exceptionnelles.

L'évaluation finale de l'ensemble est réservée au seul «instrument» capable de tenir compte de tous les indices et de tirer une solution regroupant un nombre très élevé d'éléments de nature diverse : le système perceptif des auditeurs et des musiciens. Et comme on l'a déjà avancé, et étant donné que dans ce domaine il n'y a pas de «recettes», nous considérons des cas précis.

Les expériences de A. Marshall ont démontré que les propriétés acoustiques du Christchurch Town Hall en Nouvelle Zélande, sont satisfaisantes pour les solistes mais elles représen-

tent des difficultés importantes pour les ensembles de plusieurs instruments. Cette salle de musique a une capacité de 2650 sièges et sa particularité est le temps de

réverbération très élevé accompagné d'une prépondérance latérale des sons réfléchis dans les premiers instants. la figure 1 montre le plan général du Christchurch Town Hall, et la figure 2 représente le temps de réverbération calculé et mesuré dans la même salle.

Des difficultés équivalentes ont été constatées dans le Maidment Theatre, en Nouvelle Zélande. Cette salle, d'une capacité de 450 sièges, est équipée d'un système de plans diffuseurs qui permettent l'adaptation des conditions acoustiques à la nature des signaux émis. La figure 3 montre une disposition des surfaces planes et diffusantes utilisées lors de l'interprétation d'une musique pour trio. Ici, les musiciens se sont heurtés à des difficultés d'interprétation insurmontables dues à l'impossibilité qu'avaient interprètes de violon et corne de s'entendre réciproquement.

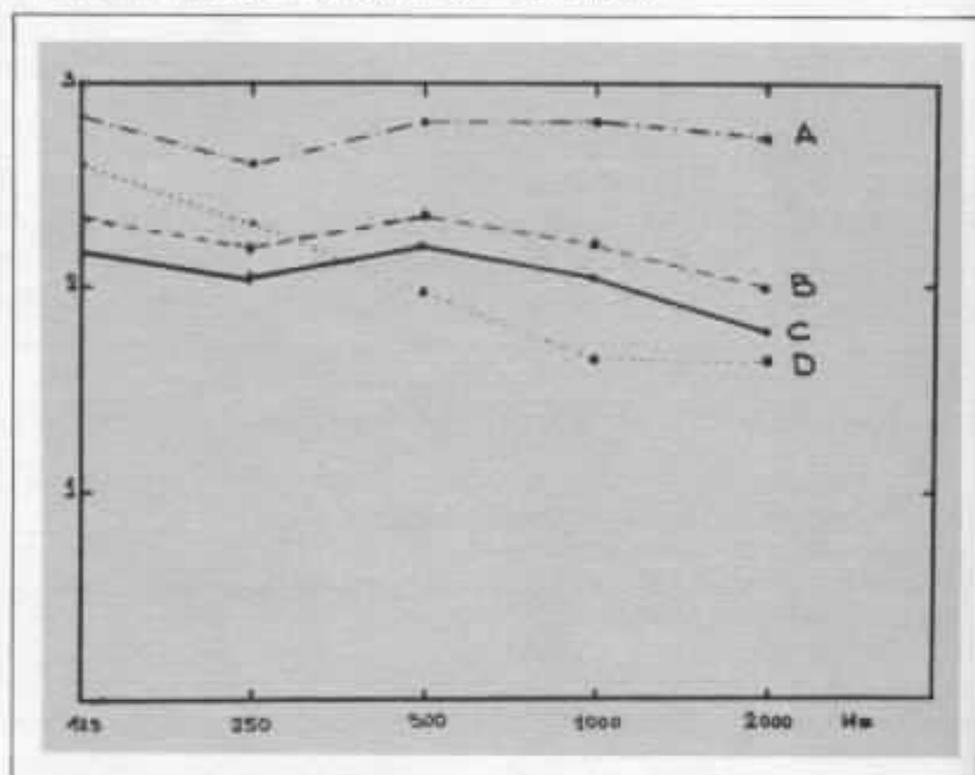


Fig 2 : Temps de réverbération calculé et mesuré dans la salle de la figure 1.
 A - Résultat expérimental - salle vide.
 B - Résultat expérimental - salle pleine.
 C - Résultat expérimental - salle pleine méthode de Schroeder.
 D - Résultat de calcul.

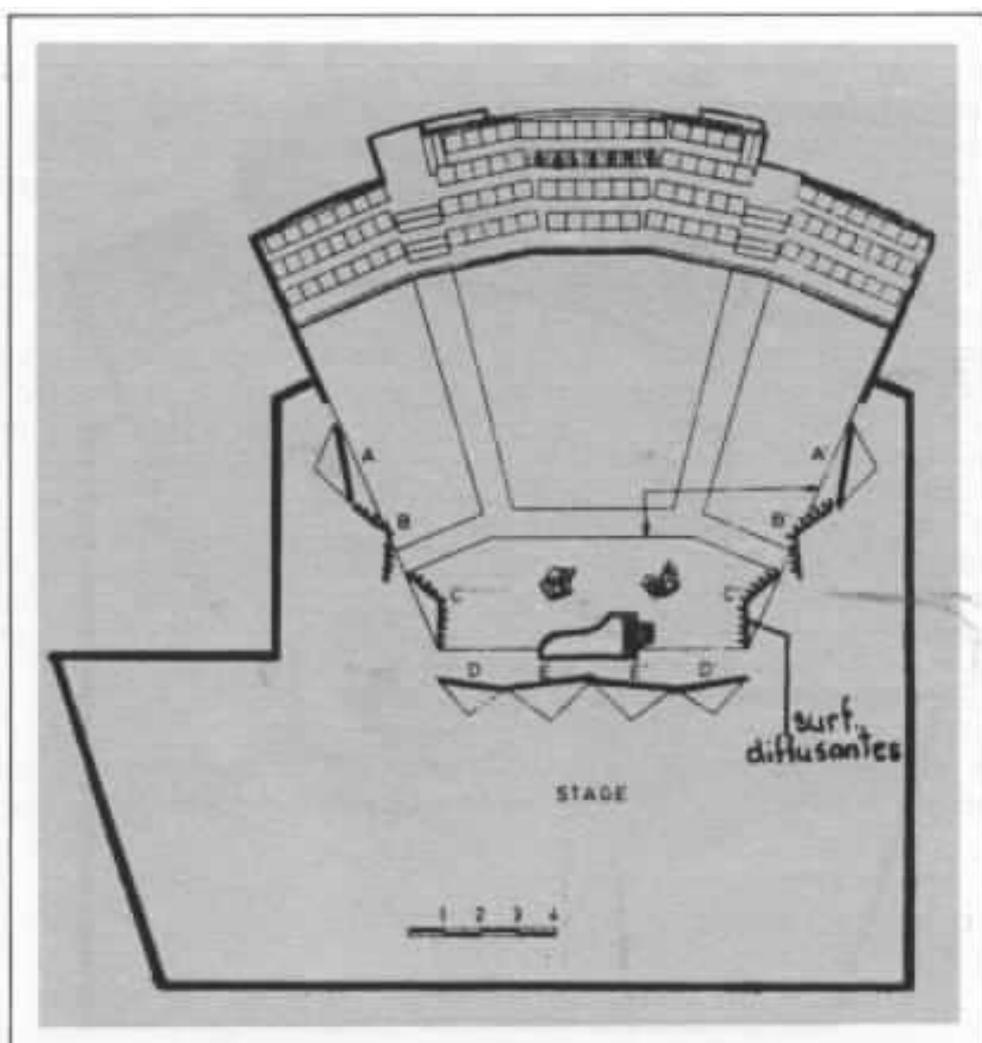


Fig 3 Maidment Theatre. Première configuration des surfaces diffusantes non satisfaisantes.

La disposition adoptée expérimentalement (fig. 4) a donné satisfaction aux interprètes grâce à l'obtention de sons réfléchis de haute fréquence ayant une intensité équivalente pour chacun des musiciens.

Ces premières observations, plus l'analyse d'autres salles présentant des conditions favorables au travail d'orchestres importants a permis à Marchall, Gottlido et Abrutz de résumer le problème dans les points suivants :

— Les premières réflexions qui ont eu lieu entre les sons émis par les divers musiciens, ont une importance énorme dans les conditions d'interprétation.

— Le délai existant entre les réflexions multiples doit se situer dans un intervalle assez critique.

— Les réflexions subjectivement préférées sont produites par des surfaces placées en dehors du plan vertical qui contient l'émetteur et le récepteur.

— Les composantes de haute fréquence sont les plus importants dans l'ensemble de sons qui «animent» un musicien par voie indirecte.

Ces observations qui dérivent des constatations directes ont besoin d'être confirmées par des travaux expérimentaux en laboratoire, et c'est dans cette optique que les auteurs ont imaginé une série d'essais.

Un trio de Beethoven a été enregistré en chambre sourde à l'aide de trois microphones avec la technique de «ensemble sauf un», sur deux pistes de trois magnétophones. Le troisième

instrument a été enregistré à un niveau compris entre -15 et -20 dB. Un signal de calibration a été aussi recueilli au niveau de l'oreille de chaque musicien.

Lors des expériences un musicien a été placé dans la chambre sourde pour recevoir à l'aide des haut-parleurs le son correspondant aux deux autres musiciens, tout en conservant la capacité de contrôler les paramètres physiques de signaux. Dans cette situation, le musicien-auditeur doit interpréter sa part de l'ouvrage musical. Une évaluation des résultats lui est demandée par la suite.

Le dispositif technique a donné l'information nécessaire à l'évaluation subjective de l'intervention des décalages temporels des sons réfléchis et de l'exis-

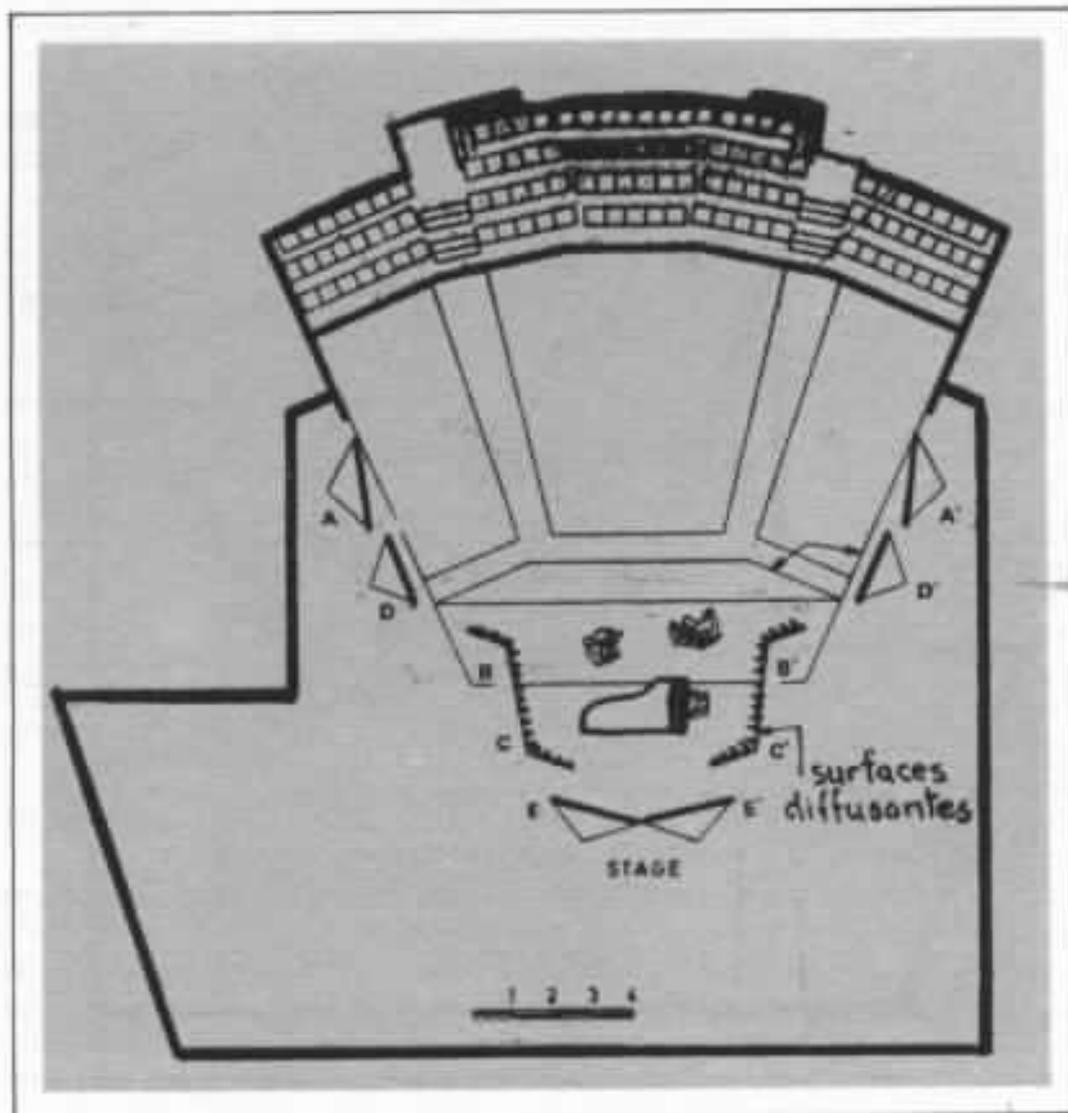


Fig 4 : Deuxième configuration des surfaces diffusantes satisfaisantes.

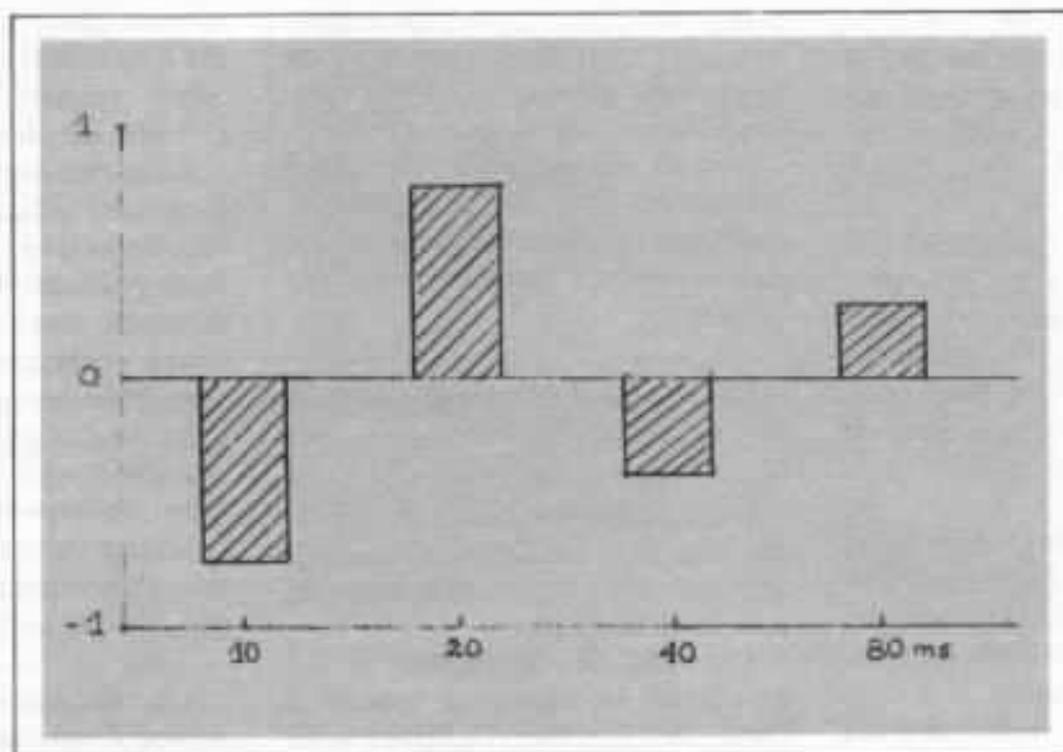


Fig 5 : Représentation des préférences pour différents champs sonores selon l'établissement de retards sur les sons indirects.

tence d'une fenêtre dans le domaine du temps où se situent les réflexions plus appréciées. Les résultats exprimés dans notre figure 5, révèlent la fréquence marquée pour le temps de 20 ms.

L'importance des composantes de haute fréquence dans le son indirect a été évaluée lors d'une deuxième expérience où l'on a appliqué les résultats dérivés de la première. Un filtrage adéquat a été utilisé par les expérimentateurs lors des tests où sont intervenus les mêmes interprètes. Des déséquilibres dans les niveaux des échos ont été aussi le sujet des essais selon la méthodologie décrite.

L'analyse des résultats a démontré que le rôle de l'énergie sonore réfléchi peu de temps

après l'émission du son direct est de première importance dans l'interprétation de motifs musicaux par plusieurs musiciens. D'autre part, l'arrivée du son indirect doit se limiter à une fenêtre temporelle assez précise. Enfin, les fréquences élevées sont jugées fondamentales dans l'appréciation globale, aussi bien que l'équilibre général du niveau de l'énergie acoustique réfléchi.

La série d'expériences est riche d'enseignements surtout pour les spécialistes, la bibliographie relative à l'évaluation des salles du point de vue de l'interprète n'étant pas très abondante. Par ailleurs, l'importance de la situation du musicien n'est sujet à discussion, étant lui, en définitive, la source des sons qui arriveront transformés par l'archi-

ecture du lieu d'audition aux oreilles des amateurs. Mais, pour nous, les travaux exposés représentent surtout un exemple clair d'une méthode de recherche qui vise à la convergence des moyens physiques avec le jugement final apporté par le système perceptif humain. Cette voie, notre « approche du subjectif » amène à un perfectionnement des moyens techniques d'analyse et projets à travers la puissante machine naturelle de traitement de l'information. Les deux faces du problème biologique et physique sont indissociables, la première, encore méconnue, tient compte du destinataire définitif des ondes sonores, le deuxième, irremplaçable, conduit à la systématisation des résultats acquis à la frontière de la vie et de la matière inanimée.