

L'AUDIOPHILE



10^e ANNÉE. N°40. 1^{er} TRIM. 1987. 43 F

**Page non
disponible**

L'amplificateur 300B

Réalisation pratique

William Walther

Suite aux articles publiés dans nos deux précédents numéros, nous abordons dans ce numéro 40, la réalisation du fameux amplificateur 300 B. Ce montage a déjà été abordé à plusieurs reprises dans ces colonnes, en particulier dans les numéros 9 et 10. Suite à une importante demande de nos lecteurs, il était essentiel d'analyser en détail le montage, d'autant que l'ensemble des composants nécessaires à sa réalisation est désormais accessible. Jusqu'à il y a encore quelques mois, une telle réalisation pour un amateur soulevait nombre de problèmes pour la plupart insurmontables.

Les réalisations d'amplificateurs utilisant la triode 300 B sont nombreuses. Plusieurs dizaines de variantes ont été décrites dans les revues techniques japonaises, tant en montage push-pull qu'en monotriode. Ceci depuis les années 60 jusqu'à nos jours. En montage simple étage, une constante se dégage : c'est l'utilisation en tube d'entrée de la pentode

WE 310 A, du tube de puissance WE 300 B et de la valve redresseuse WE 274 B. Ces trois tubes sont, bien entendu, de marque Western Electric.

Comme le lecteur a pu le constater, dans notre article publié dans le n° 38 consacré aux amplificateurs monotriodes, il n'y a pas une multitude de façons de faire fonctionner un tel amplificateur. Avec les trois

tubes mentionnés, les variantes vont donc porter uniquement sur la valeur de certains composants, leur technologie, la marque des tubes et celle du transformateur de sortie, l'utilisation ou non de boucles de contre-réaction... Nous donnons, dans les schémas 1 à 4, un aperçu des diverses possibilités. Le schéma 4 étant celui qui correspond à la version que nous avons retenue.

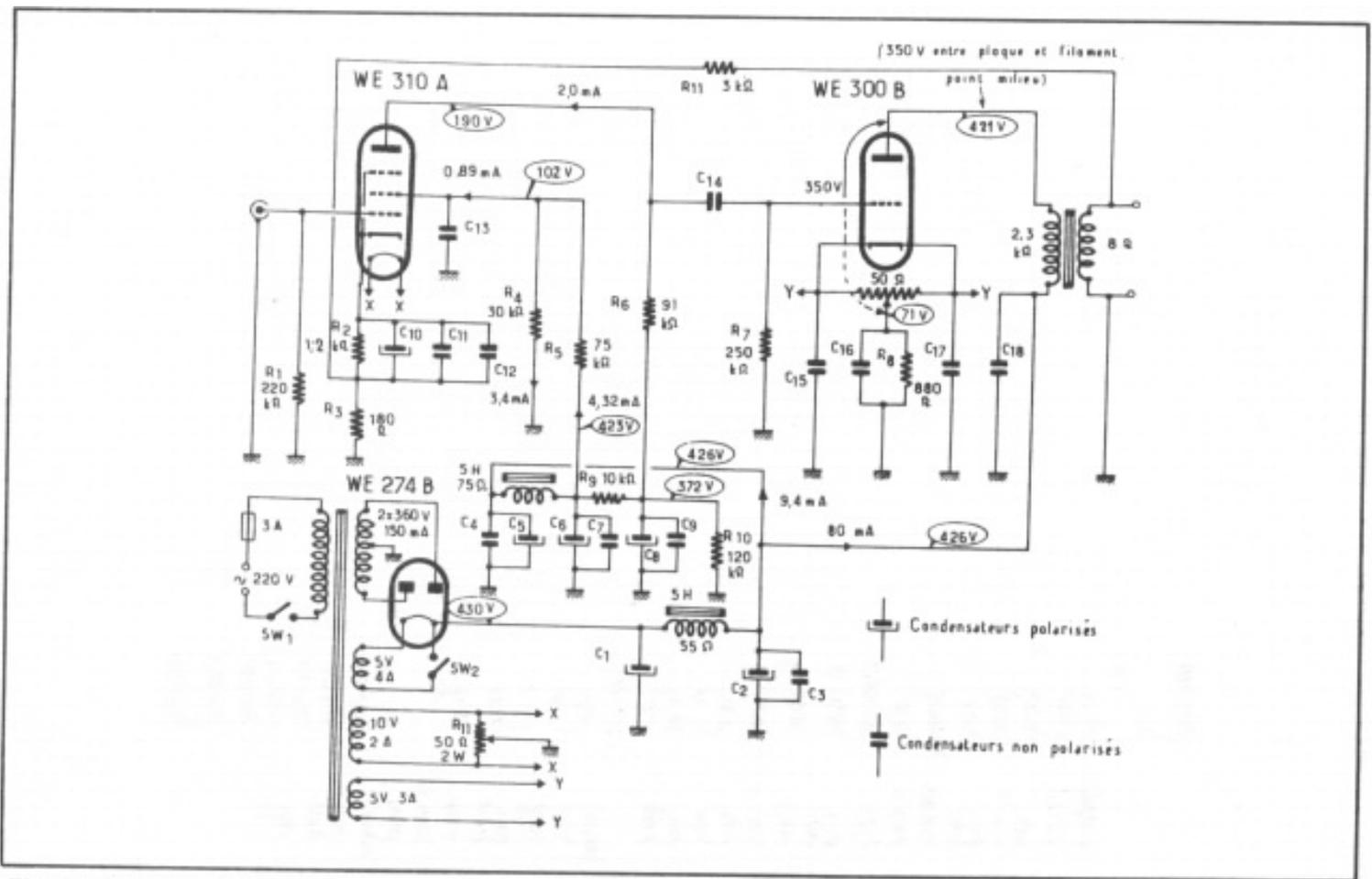


Fig. 1 : Schéma de l'amplificateur 300B Tanaka décrit dans L'Audiophile n° 10.

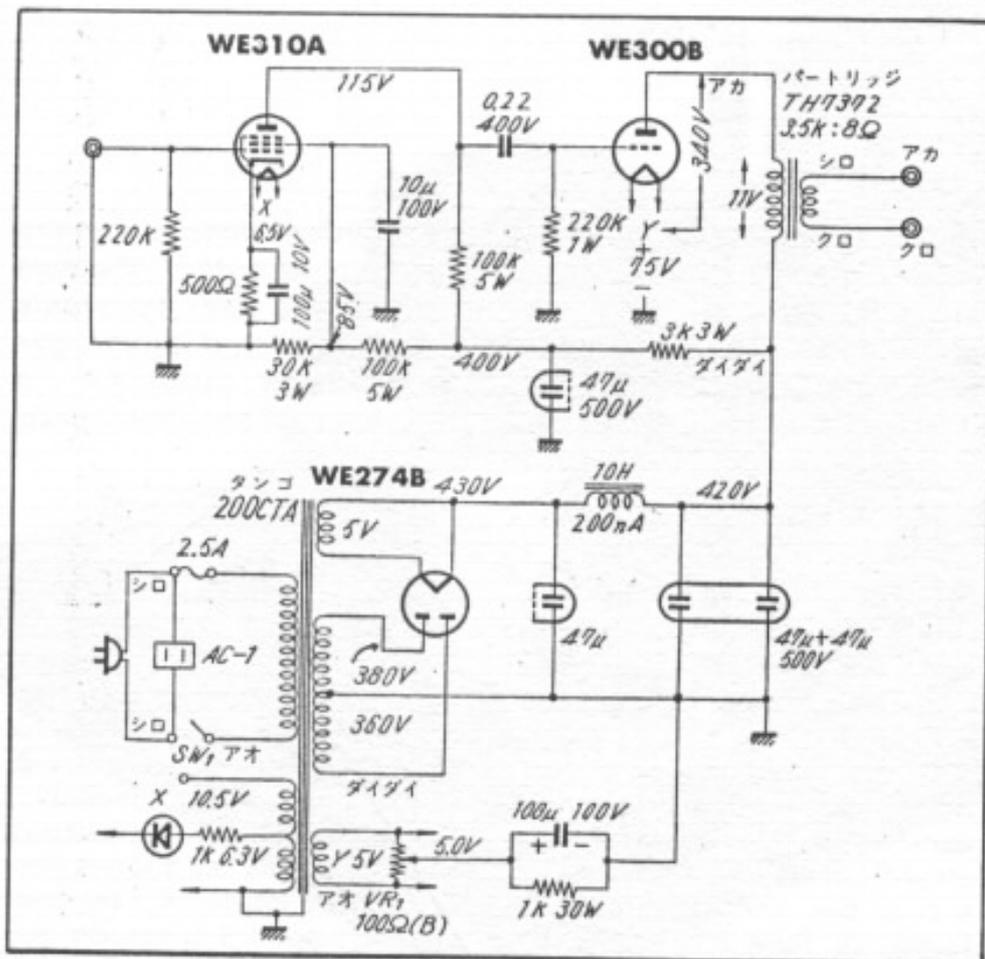


Fig. 2 : Exemple d'amplificateur 300B décrit dans la revue japonaise Stereo Technic en mai 79 (schéma de K. Anzai).

Les différentes variantes

Pour chacune des parties du schéma, diverses solutions sont envisageables.

Le tube WE 310 A : Au niveau du tube d'entrée, les latitudes de manœuvres se situent au plan de la résistance de fuite de grille, de la résistance de cathode, de l'utilisation ou non de condensateurs de découplage de cathode, de la mise en parallèle de condensateurs non polarisés, de la résistance de plaque et de la polarisation d'écran.

La liaison au tube de puissance : Elle peut se faire de trois manières : soit directe, soit par transformateur ou par condensateur.

Le tube WE 300 B : Pour le tube de puissance on peut jouer sur la résistance de fuite de grille, l'impédance de charge et choisir une polarisation fixe ou automatique.

**Page non
disponible**

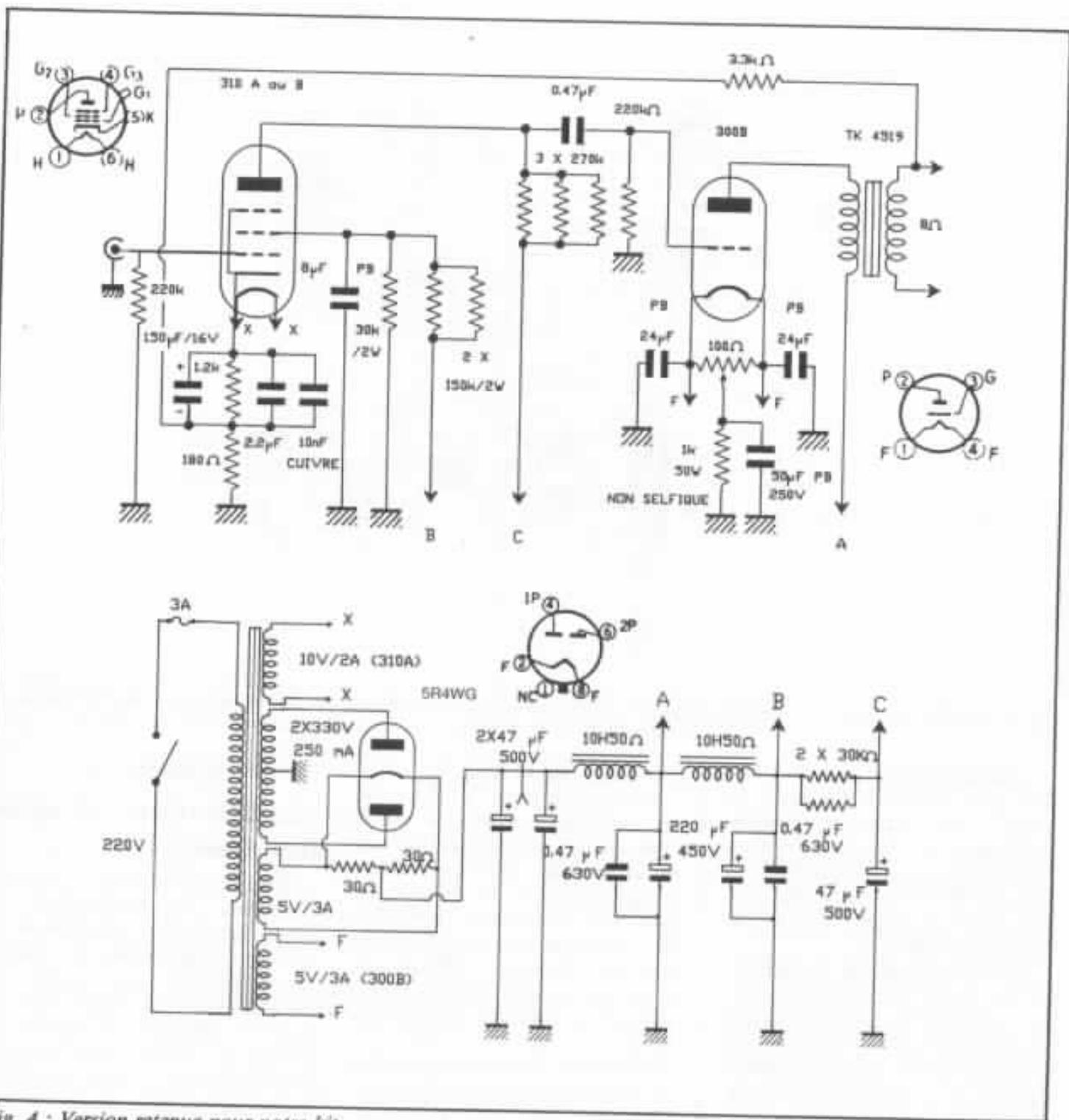


Fig. 4 : Version retenue pour notre kit.

ble taux de contre-réaction aide à mieux «tenir» le grave.

Une autre modification, conseillée par Jean Hiraga, consiste à découpler le curseur du potentiomètre à filament du tube 300 B de la haute tension par un condensateur de 10 à 20 μF/500 V non polarisé (fig. 5).

Les tubes utilisés

Les trois tubes retenus dans la

version Tanaka ne sont plus disponibles aujourd'hui. Il faut donc avoir recours à des tubes équivalents dont les caractéristiques électriques et les performances subjectives soient les plus proches possibles des références d'origine. Pour le tube d'entrée, nul doute que le meilleur équivalent possible reste le tube WE 310 B. Celui-ci, de marque Western Electric, a exacte-

ment les mêmes caractéristiques d'utilisation que la 310 A ; son comportement subjectif est très bon et extrêmement proche de la version A. La WE 274 B est sans doute la meilleure valve jamais fabriquée. Malheureusement, elle est impossible à trouver en France. Comparée aux différents modèles de remplacement les écarts se situent surtout aux deux extrémités du spectre, lesquelles

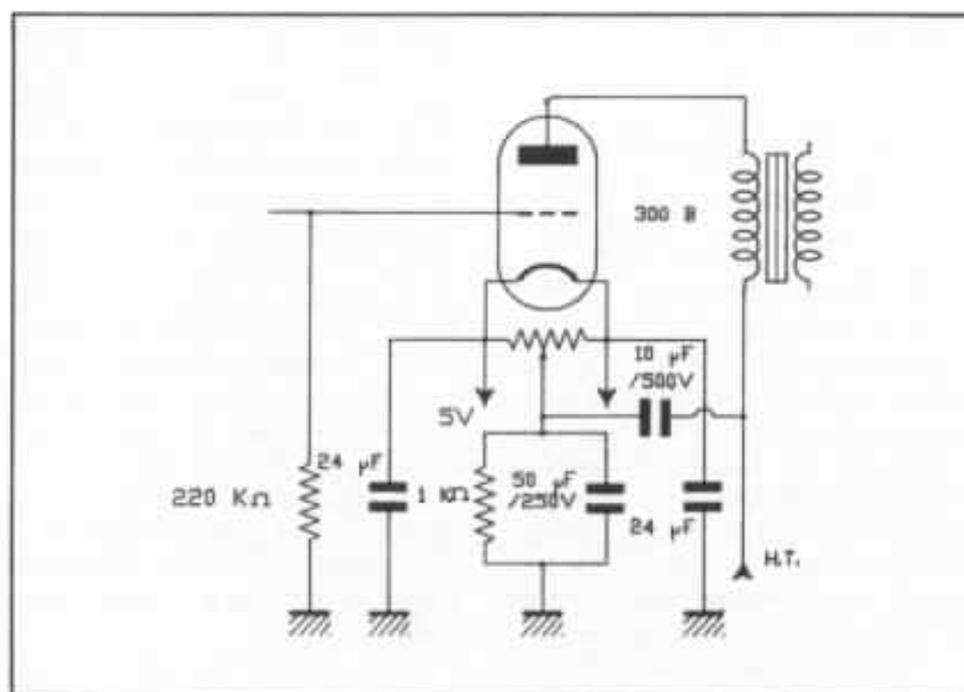


Fig. 5 : Détail de l'étage de sortie de l'amplificateur. Le curseur du potentiomètre à filament du tube 300B peut être découplé par un condensateur non polarisé de 10 μ F/500 V de la haute tension.

sont reproduites avec plus de nuances et de détails avec la 274 B. En utilisation large bande, le meilleur compromis est obtenu avec la valve 5 R4 GW de marque Chatham ; en utilisation médium, prendre le tube 5U 4 GB et pour l'aigu, la 5 R4 GW est également recommandée. Bien qu'elle procure une légère mise en avant de l'aigu, celui-ci reste très fin.

Pour le 300 B, il n'y a plus d'autre alternative après l'arrêt de fabrication de cette référence par la Western Electric que de prendre des tubes 300 B Cetron (voir la rubrique «On en parle...» dans le n° 39). Les nombreuses écoutes que nous avons faites nous ont convaincus du très haut niveau de qualité auquel étaient arrivés les ingénieurs de chez Cetron dans la fabrication de la réplique. Sans vouloir nier les différences existant entre les deux origines, nous les qualifierons cependant de non-fondamentales et peu significatives. On pourra affirmer ici que la 300 B Cetron a bien le «son 300 B», son de triode reconnaissable entre tous, caractérisé par un dynamique surprenante, un respect des timbres

remarquable, une étonnante richesse harmonique et une puissance subjective inouïe en regard de la puissance électrique. Autant de performances rarement rencontrées sur des amplificateurs à tubes comme à transistors.

Par ailleurs, il est impératif d'avoir des tubes de puissance appairés sur le plus de paramètres possibles. Nous avons constaté des écarts importants d'un tube à l'autre aussi bien entre des références Cetron qu'entre des références Western Electric.

Dans le kit livré par la Maison de L'Audiophile, les deux 300 B sont fournis triés en distortion, puissance et courant. Nous donnons à titre indicatif dans le tableau 1 les résultats obtenus sur dix tubes d'origine Cetron.

Le tube 300 B a été et reste toujours un tube très cher, le plus onéreux de tous les tubes triodes. Nous rappelons à titre indicatif que ce tube, au Japon, coûte suivant les points de vente entre 60 000 et 100 000 yens, soit 2 400 à 4 000 F pièce. Un amplificateur comme le Luxman MB 300, version 300 B de ce grand constructeur japonais, est proposé à plus de 50 000 F la paire (il coûterait près du double s'il était importé en France...). Le lecteur comprendra aisément qu'à ce prix, il n'est pas question de changer les tubes tous les six mois ! La 300 B est donnée pour 10 000 heures de fonctionnement sans perdre ses caractéristiques à condition toutefois de ne pas trop la pousser en tension et en courant, la puissance dissipée devant rester dans des limites acceptables. En polarisation automatique, la valeur de la haute tension et celle de la résistance de cathode doivent permettre d'atteindre cette puissance en la limitant à une valeur convenable vis-à-vis de la puissance de sortie désirée. Pour notre mon-

| Tube 300B Cetron | I_{ANODE} | Distorsion | Puissance |
|------------------------------|-------------|------------|-----------|
| A | 64 mA | 2,7 % | 4 W |
| B | 65,9 mA | 2,8 % | 3,8 W |
| C | 64,7 mA | 2,9 % | 3,9 W |
| D | 68 mA | 3,3 % | 3,6 W |
| E | 66 mA | 2,4 % | 3,8 W |
| F | 67,8 mA | 3,2 % | 3,5 W |
| G | 66,6 mA | 3,1 % | 3,6 W |
| H | 64,9 mA | 3 % | 3,9 W |
| I | 67,5 mA | 3,8 % | 3,6 W |
| J | 69,5 mA | 2,7 % | 3,4 W |
| % entre les valeurs extrêmes | | | |
| | 8 % | 58 % | 17 % |

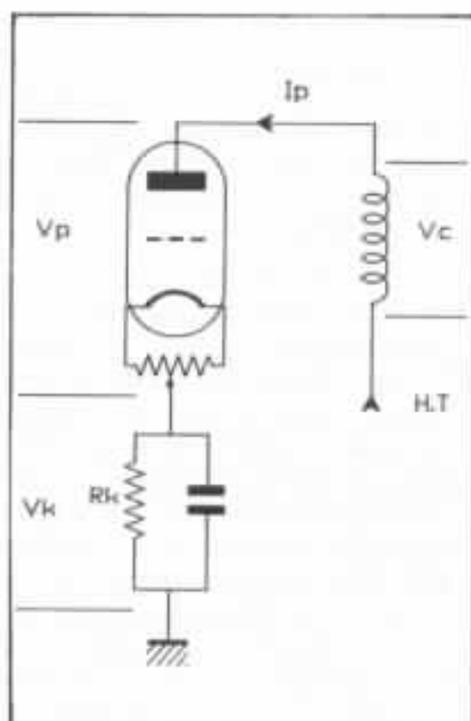


Fig 6 : Schéma de principe de l'étage de sortie (voir texte).

tage (fig. 6), nous avons retenu une haute tension de 410 V et une résistance de cathode de 1 k Ω , ce qui nous donne une

puissance dissipée :

$$P = V_p \times I_p$$

$$I_p = \frac{V_k}{R_k} = \frac{65 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 65 \text{ mA}$$

$$V_p = HT - V_c - V_k = 410 - 5 - 65 = 340 \text{ V}$$

$$P = 340 \text{ V} \times 65 \text{ mA} = 22,1 \text{ W}$$

La puissance dissipée par notre montage est satisfaisante vis-à-vis de la puissance de sortie qui est d'environ 5 W. Dans son montage M. Tanaka utilise une résistance de 880 Ω et une haute tension de 425 V, ce qui procure une puissance dissipée de 28,2 W pour une puissance de sortie de l'ordre de 6 W (voir figure 7).

Bien plus que la valeur de cette résistance, qui peut varier d'un montage à l'autre, il est impératif que cette dernière soit d'un wattage très élevé (50 W) et surtout non selfique.

Le transformateur de sortie

Le modèle retenu est, bien

naturellement, le transformateur Partridge réf. TK 4519 utilisé à 2,3 k Ω d'impédance primaire. Nous ne reviendrons pas en détail sur les immenses qualités de ce transformateur, le lecteur pourra se reporter au n° 39. Sur la figure 8, la variation du niveau de puissance ainsi que le taux de distorsion en fonction de l'impédance de charge du 300 B montrent que la valeur optimale se situe vers 2 300 Ω . Une impédance de charge plus élevée s'accompagnera d'une baisse de distorsion et d'une diminution de puissance. Le fait d'abaisser l'impédance aura l'effet contraire.

C'est pour ces raisons que cette valeur particulière a été retenue. Les valeurs normalisées étant 3,5 k Ω ou 5 k Ω .

Composants passifs

Pour notre version complète du kit, nous avons retenu les meilleurs composants disponibles en 1987 sur le marché français. Les résistances sont des modèles tantale 1 % 1/2 W importés directement du Japon. Pour les condensateurs de découplage de résistance de cathode et du filament 300 B, nous employons les nouveaux modèles polypropylène métallisé série PB de chez SCR dont les qualités audio sont bien supérieures à la plupart des modèles que l'on pouvait trouver auparavant. Leur tension d'isolement est de 250 V, les valeurs utilisées dans le kit sont respectivement de 8 μF (découplage écran 310), 24 μF (découplage potentiomètre 100 Ω) et 50 μF (découplage résistance 1 k Ω bobinée). On peut utiliser deux condensateurs de 24 μF montés en série (soit 12 μF /500 V) et placés en parallèle sur les condensateurs électrolytiques de 220 μF de sorte à atténuer la remontée d'impédance aux fréquences élevées due à l'effet selfique des chimiques. Enfin, le condensateur de liaison est de marque Shizuki, de valeur

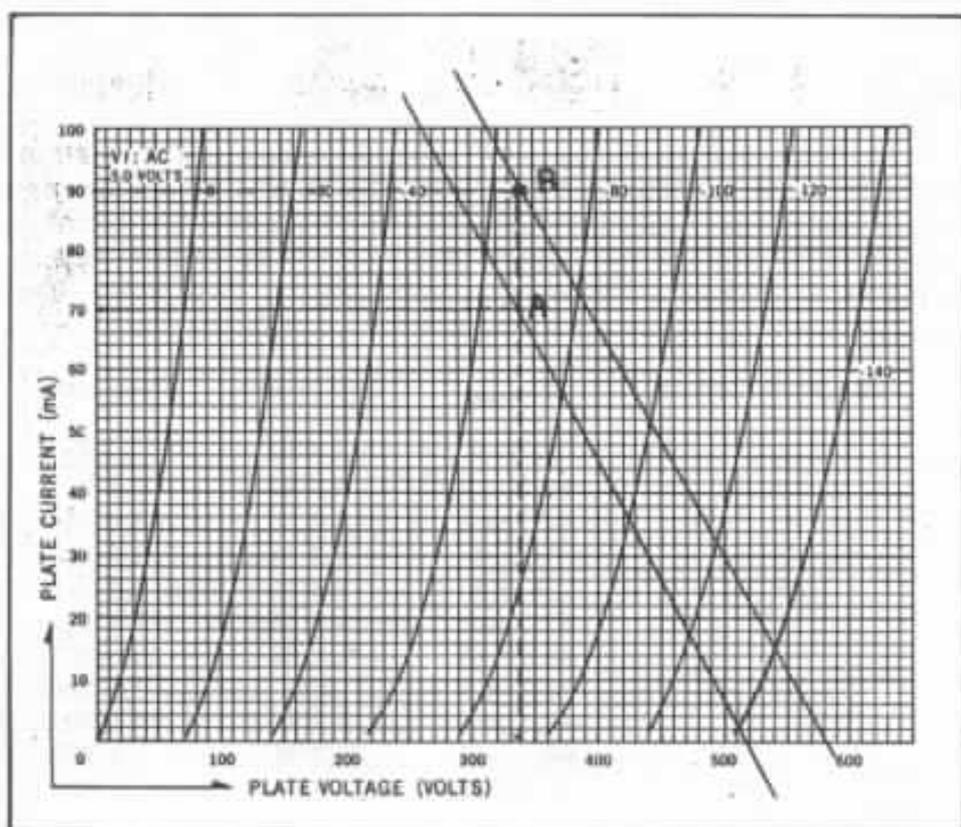


Fig 7 : Positionnement du point de fonctionnement. En A, $R_K = 1 \text{ k}\Omega$ et $Z_p = 2 300 \Omega$; en B, $R_K = 700 \Omega$ et $Z_p = 2 300 \Omega$.

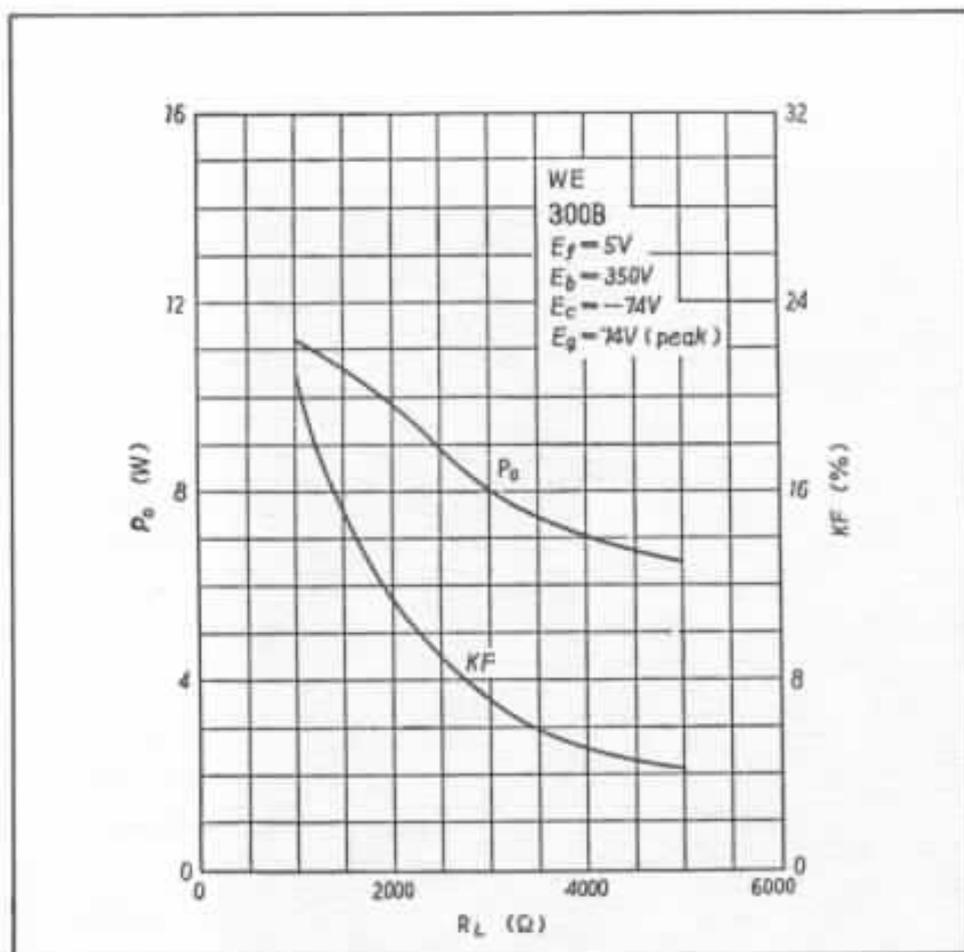


Fig. 8 : Caractéristiques de puissance (P_o) et de distorsion K_F en fonction de la résistance charge pour les conditions mentionnées ci-dessus. Cette courbe a pu être établie suite aux travaux de Jean Hiraga sur le 300 B dans les années 70.

0,47 μ F/200 V dont les qualités sont désormais bien connues de nos lecteurs. Les supports de tubes sont importés également directement du Japon. Ils sont à isolant stéatite.

Construction de l'amplificateur 300 B

Le principe de construction est identique à celui ayant fait l'objet d'une description détaillée dans le n° 38 pour l'amplificateur VT 52.

Châssis

Bien naturellement dans cette réalisation, comme pour le VT 52, deux châssis sont utilisés, on a ainsi deux amplificateurs monophoniques. Le châssis en aluminium pré-percé et conçu spécialement pour ce kit. Il est

réalisé en commande numérique dans de l'aluminium de 30/10°. Sa finition est de couleur gris acier brossé. Le fond noir vient se fixer sur la platine principale par quatre vis.

Câblage

L'ordre des étapes de la construction est bien évidemment identique à celui de notre description du n° 38. Il convient, dans un premier temps, de procéder au montage de tous les éléments mécaniques : interrupteur, porte-fusible, Cinch d'entrée (veillez à «gratter» l'anodisation du châssis pour une parfaite mise à la masse), bornes HP, résistance de puissance de 1 k Ω , potentiomètre de 100 Ω , colliers des condensateurs de filtrage, selfs de filtrage et transformateurs d'alimentation et de sortie.

Il convient ensuite de préparer la ligne de masse réalisée dans une petite barre de cuivre plein. Celle-ci relie le point milieu du transformateur d'alimentation à la borne noire de la sortie HP en passant par la cosse du point froid de la Cinch d'entrée. Cette ligne de masse sert de support mécanique à certains composants passifs : condensateur de 50 μ F, résistances de fuite de grille... Les bornes négatives des condensateurs de filtrage y sont également reliées. Apportez le plus grand soin à toutes ces connexions de masse, la qualité finale de votre amplificateur en dépend (un fer à souder de puissance suffisante, 60 W, est nécessaire).

Les connexions de masse étant réalisées, l'étape suivante consiste au câblage des filaments de chacun des tubes. On utilise pour cela des câbles torsadés de type Lily 1 mm. Pour le tube d'entrée 310 B, les caractéristiques filament sont 10 V/0,9 A (cosses 11 et 13 du transformateur d'alimentation), pour le 300 B, 5 V/3 A (cosses 8 et 10) et enfin 5 V/3 A pour la valve redresseuse (cosses 6 et 7).

Le curseur du potentiomètre est soudé directement à l'extrémité non reliée à la masse de la résistance de 1 k Ω . Rappelons que le rôle de ce potentiomètre est de permettre de réduire le résidu alternatif du chauffage et ainsi améliorer les caractéristiques de bruit de fond.

Le condensateur de découplage du tube de puissance est un modèle 50 μ F au polypropylène dont l'isolement continu est de 250 V.

Vient ensuite le câblage de la haute tension, des câbles de même type seront utilisés. Veillez toutefois à différencier les couleurs. Le point de départ de la ligne haute tension se fera au point milieu des deux résistances de 30 Ω /5 W mises en série sur les cosses 5 et 6 du chauffage de la 5 R4 WG.

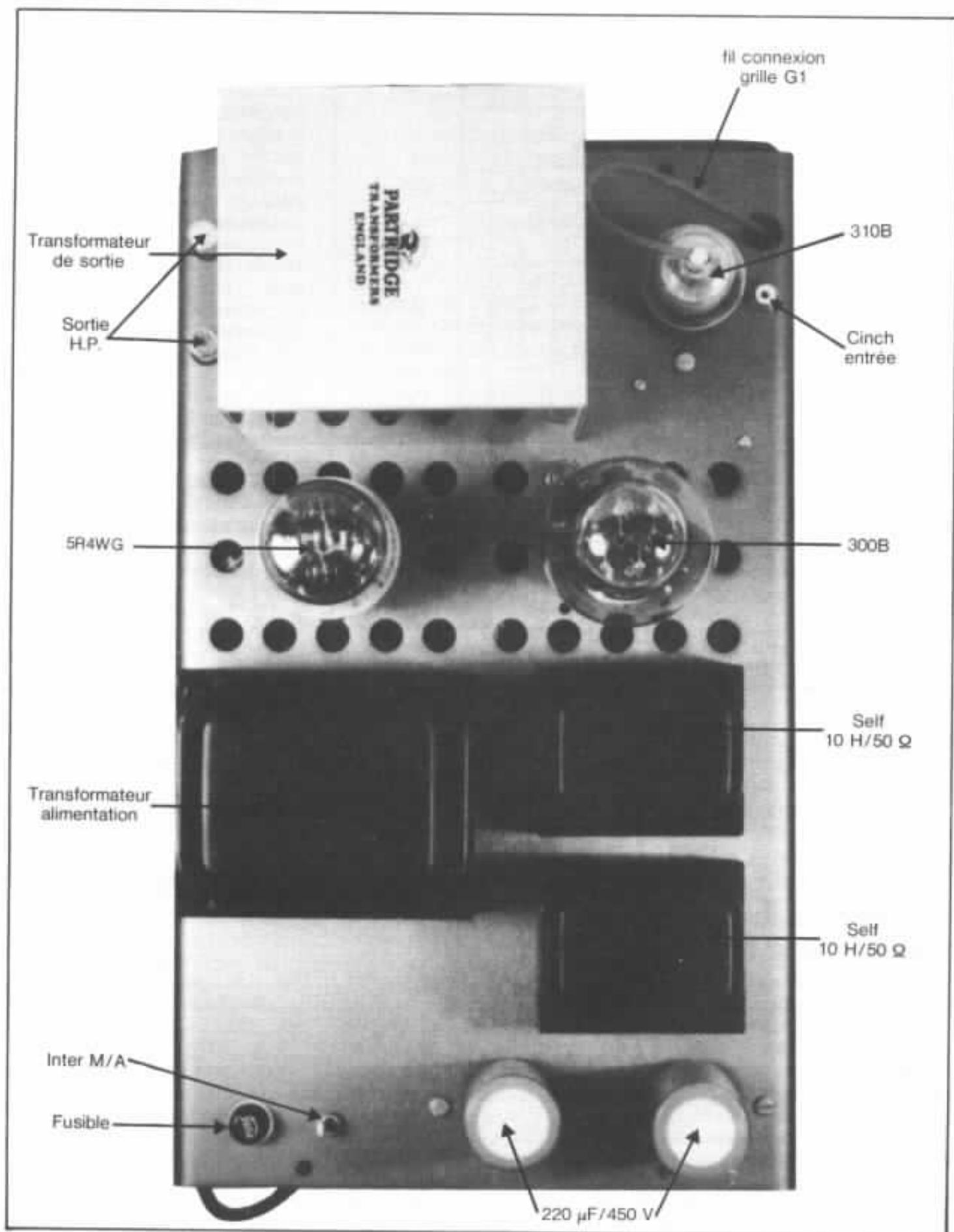


Fig. 9 : L'amplificateur 300 B vu de dessus.

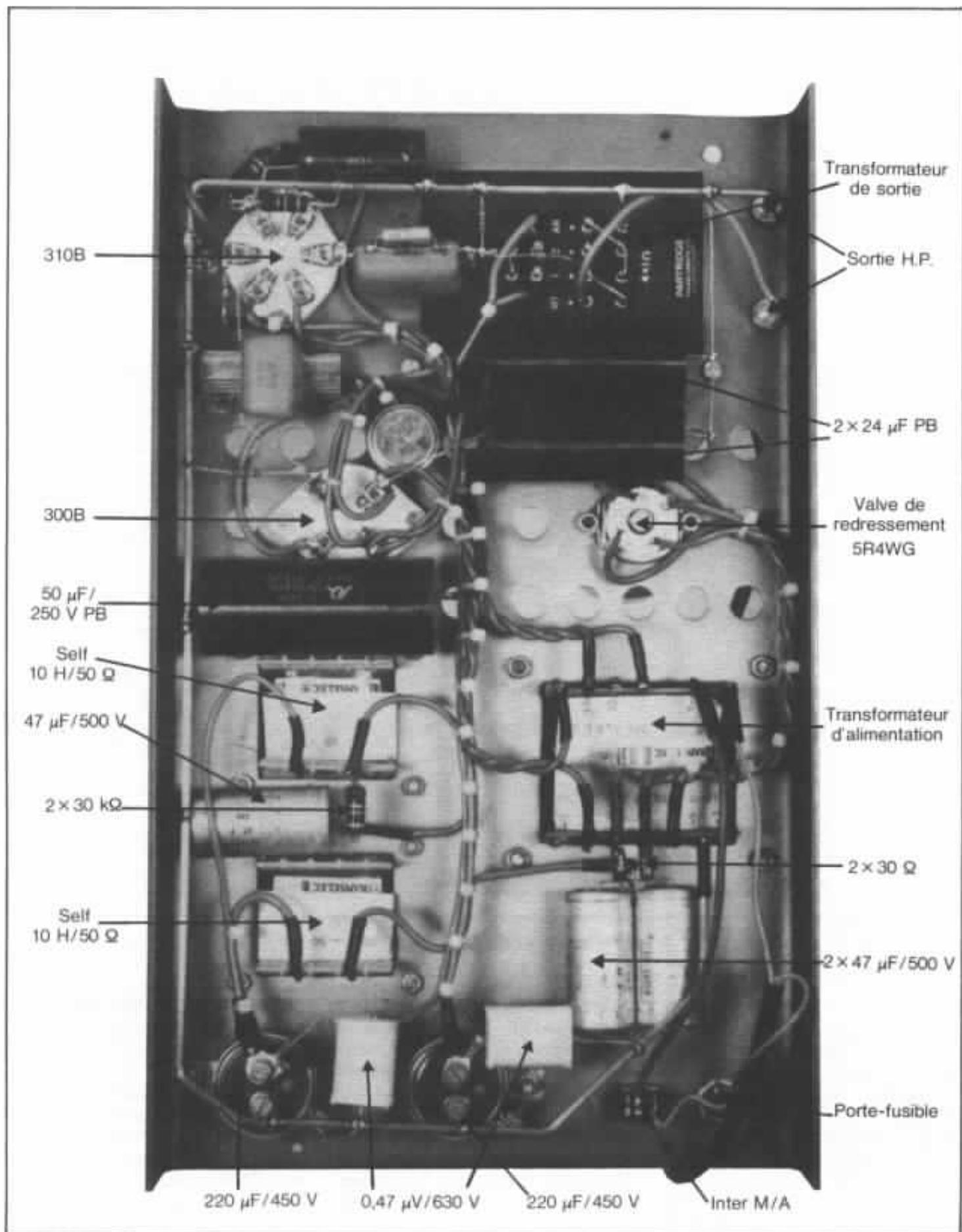


Fig. 9 bis : Vue du câblage de l'amplificateur 300 B.

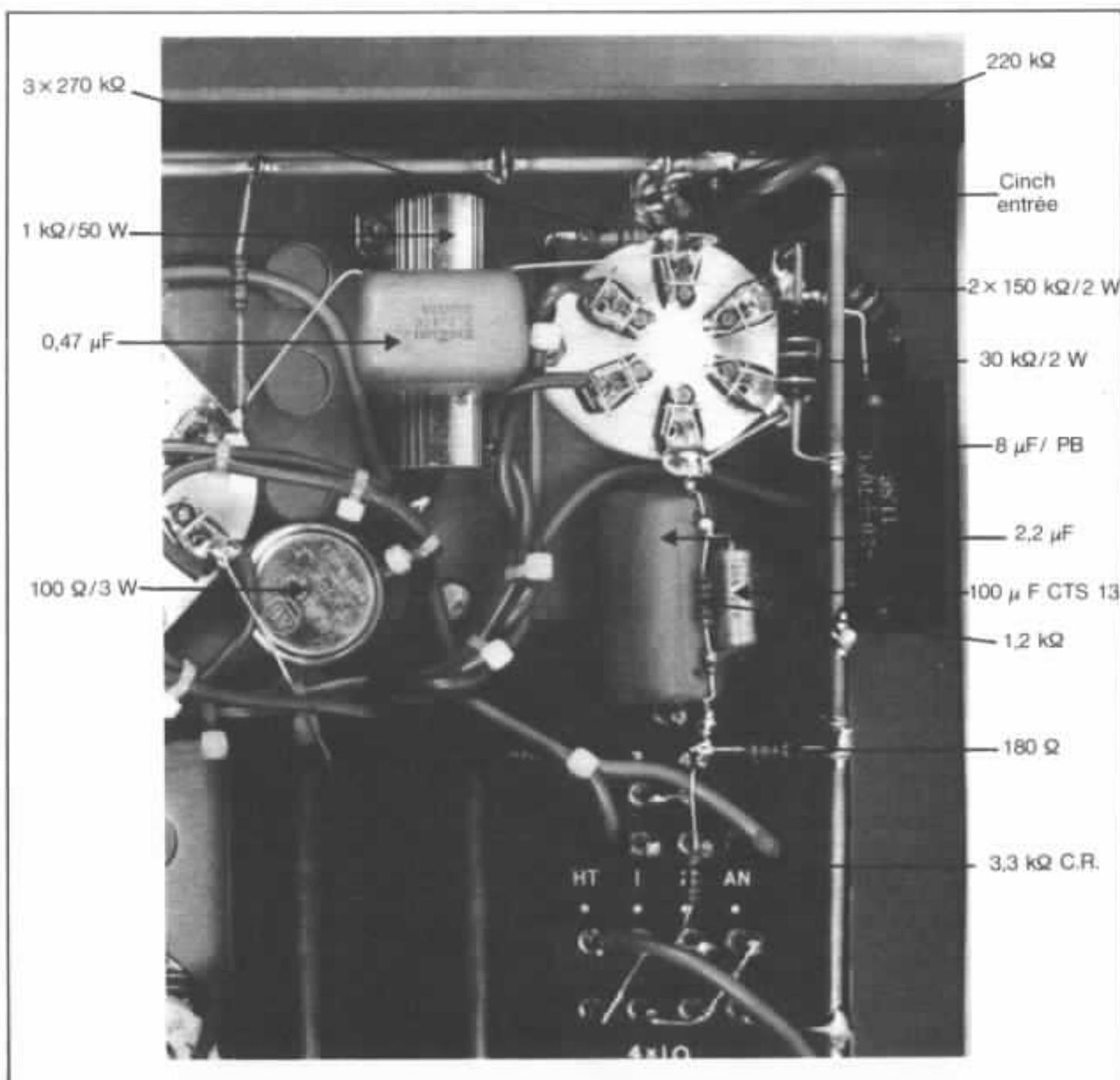


Fig. 10 : Vue de détail du câblage du tube d'entrée.

Comme on peut le voir sur la photo générale du câblage, l'alimentation du kit 300 B est plus complexe que celle du montage VT 52. Le premier condensateur de filtrage est réalisé par la mise en parallèle de deux condensateurs de $47 \mu\text{F}/500 \text{ V}$. Ensuite après chacune des selfs, on trouve un condensateur de $220 \mu\text{F}/450 \text{ V}$. Les cosse seront utilisées pour le raccord sur les bornes à vis.

Le transformateur de sortie Partridge TK 4519 offre deux possibilités d'impédance primaire : $2,3 \text{ k}\Omega$ et $3,5 \text{ k}\Omega$. Dans le montage 300 B, comme nous l'avons mentionné préalablement, il est conseillé d'utiliser la plus basse impédance de $2,3 \text{ k}\Omega$. Pour cela, il conviendra de relier les bornes marquées 3 et 4 sur le transformateur de sortie. La borne dénommée HT sera reliée après la première self sur la cosse

(+) du condensateur de $220 \mu\text{F}$ (point A du schéma) par un fil de 40 cm. La borne repérée AN sera reliée à la cosse n° 2 du tube 300 B à l'aide du câble Isoda HB 3160 de 20 cm fourni dans le kit. Le secondaire sera connecté entre HP et masse comme indiqué dans la notice de branchement et cela suivant l'impédance de sortie désirée. La sortie HP est reliée à la borne rouge Michell et la masse à la borne

noire Michell (prévoir environ 8 cm de câble Isoda en deux couleurs).

La ligne HT alimentant le premier tube (310 B) part du point C du schéma, point de jonction entre les deux résistances de 30 k Ω montées en parallèle et la borne (+) du 47 μ F/500 V en sortie d'alimentation. Cette ligne aboutit sur la résistance de plaque du 310 B réalisée par montage de trois résistances tantale de 270 k Ω de façon à obtenir 90 k Ω . Cette méthode permet de réduire le bruit et d'augmenter la stabilité. L'écran du 310 B, quant à lui, est relié par l'intermédiaire des deux résistances de 150 k Ω /2 W montées en parallèle (soit 75 k Ω /4 W) au point B de l'alimentation, c'est-à-dire sur la borne positive du deuxième condensateur de 220 μ F/450 V. La polarisation convenable de l'écran est obtenue par le réseau atténuateur 75 k Ω /30 k Ω découpé par un condensateur 8 μ F SCR.

Ce type de câblage dit « en l'air », sans l'utilisation de cosses relais, demande un soin attentif et un peu d'habitude... Pour guider le lecteur, nous insisterons sur la nécessité absolue d'effectuer préalablement un montage mécanique de type « wrapping » avant d'utiliser le fer à souder. De fait, par cette méthode de câblage, le montage devrait être à même de fonctionner sans soudeuse !

Dernier détail : la grille du tube 310 B (reliée au petit téton métallique situé au dessus du tube) sera reliée au point chaud de la Cinch d'entrée avec une longueur suffisante de câble Isoda de sorte à pouvoir effectuer une boucle suffisamment souple et éviter toute tension sur le câble. Après raccord du câble secteur du porte-fusible et de l'interrupteur, le câblage est terminé.

Contrôle

Une fois le câblage terminé,

prenez votre temps. Ne branchez pas immédiatement le secteur. Vérifiez attentivement le câblage en vous reportant au schéma de principe. Veillez à ce qu'aucun contact malencontreux entre composants ou soudures ayant coulé ne soit susceptible de provoquer des court-circuits.

Après cette inspection méticuleuse, mettez en place la 310 B et la 300 B sans placer la valve de redressement. Assurez-vous que les filaments s'allument. Vous pouvez ensuite enficher la valve après une quinzaine de secondes, vous pouvez alors procéder au contrôle des différentes tensions. On ne répétera jamais assez les précautions à prendre lorsqu'on manipule des appareils à tubes (gants isolants, siège isolé du sol, mesures à l'intérieur du châssis avec une seule main).

La valeur optimale de la **haute tension** est de 410 V. Elle est mesurée entre la borne du premier condensateur de 220 μ F et la masse (point A du schéma). **La polarisation du 300 B** sera déterminée en mesurant préalablement la tension grille qui doit être de -68 V (relevée entre la masse et le curseur du potentiomètre). On en déduit le courant plaque :

$$I_p = \frac{68 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 68 \text{ mA}$$

La tension plaque est mesurée entre la cosse n° 2 du support du 300 B et le curseur du potentiomètre, sa valeur optimale est de 338 V.

La polarisation du tube 310 B se détermine en relevant la tension de cathode prise aux bornes de la résistance de 1,2 k Ω , cette tension doit être de l'ordre de 3 V ; vérifiez ensuite la tension plaque qui doit être de 180 V entre plaque et cathode. La tension écran est de 110 V et le relevé aux bornes de la résistance de 30 k Ω .

Ces valeurs de mesure sont données à titre d'informations pour vous guider dans votre con-

trôle. Ne vous effrayez pas si vous ne tombez pas « pile » sur ces valeurs, une fourchette de 10 % est tolérable.

Une fois ces différents contrôles terminés, il vous suffira de régler le **niveau de bruit de fond** en ajustant le potentiomètre de 100 Ω en ayant préalablement connecté un haut-parleur sur la sortie de l'amplificateur.

Performances techniques

- Puissance disponible à la limite de l'écrêtage à 1 kHz : 6,5 W
- Sensibilité : 1 V
- Taux de contre-réaction : 6 dB
- Bande passante à 1 W : 5 Hz à 33 kHz (-3 dB)
- Distorsion à 1 W à 100 Hz : 0,3 % - 1 W à 1 kHz : 0,3 % - 1 W à 10 kHz : 0,27 % ; à 3 W à 100 Hz : 1,2 % - 3 W à 1 kHz : 1,2 % - 3 W à 10 kHz : 1 %.
- Spectre : cf. figure 11.
- Réponse signal carré : cf. fig. 12.

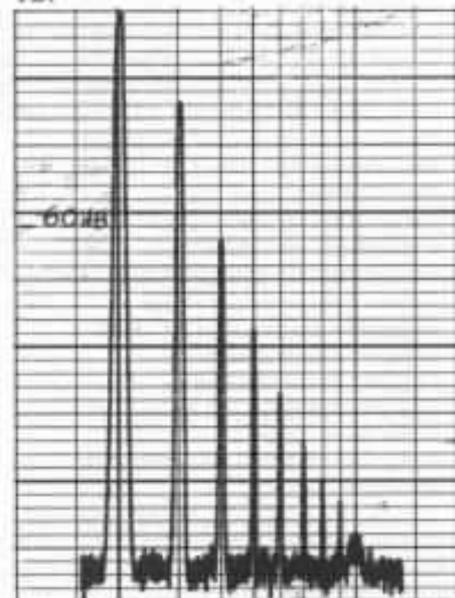


Fig. 11 : Spectre de distorsion 1 kHz 1,5 W.

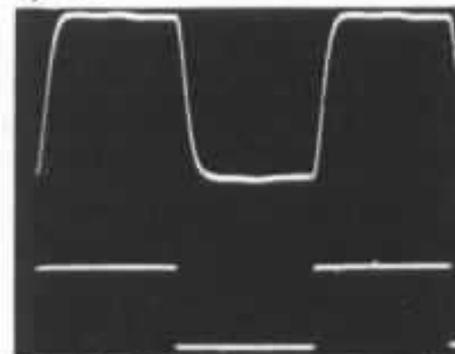


Fig. 12 : Réponse en signal carré à 10 kHz.

Les premiers tubes 300 B sont sortis des usines Western Electric au début des années 30. Fait unique dans l'histoire de la haute fidélité, 57 ans après, ce composant est encore fabriqué et utilisé par des milliers de personnes amoureuses de la restitution sonore et cela à travers le monde. Nous sommes heureux d'avoir pu mettre à la disposition des amateurs français cette réalisation exceptionnelle qui fut, rappelons-le, décrite dès 1977 dans ces colonnes.

En conclusion

Nous laissons la parole à Jean Hiraga qui, mieux que personne, a su nous faire découvrir les immenses qualités de ce tube

triode.

« C'est grâce à cet amplificateur que l'on pourra s'apercevoir à quel point les électroniques transistorisées ou à tubes (mais plus conventionnelles) sont, à de très rares exceptions près, pauvres en pouvoir d'expression des nuances, des fondus sonores, des timbres ou sur les effets de profondeur. Sur le 300 B, le faible facteur d'amortissement devrait normalement avoir pour conséquence subjective un son ample, chaud de timbre avec un grave assez mou. Sur le 300B, le côté assez chaleureux de la restitution, les transcriptions très réalistes des ambiances de concert, la reproduction fidèle des fins de notes contrastent fortement avec le comportement remarquable de cet amplificateur sur les

attaques transitoires.

Ample mais léger, chaud de timbre mais rapide, doux mais hyper-analytique, le 300B est un cas vraiment à part. Associé à des enceintes à haut rendement, le 300B est certainement l'amplificateur qui procure le plus haut degré de satisfaction sur le plan de l'écoute musicale. L'émotion passe avec une intensité rarement rencontrée jusqu'ici.

Une écoute attentive de cet amplificateur permettra de se rendre compte que les électroniques concurrentes, considérées comme parfaites ou presque n'ont que pour seul (et grave) défaut un manque de certaines qualités, celles qui ne peuvent être obtenues qu'à partir de tubes triodes à très haute linéarité. »

Circuit

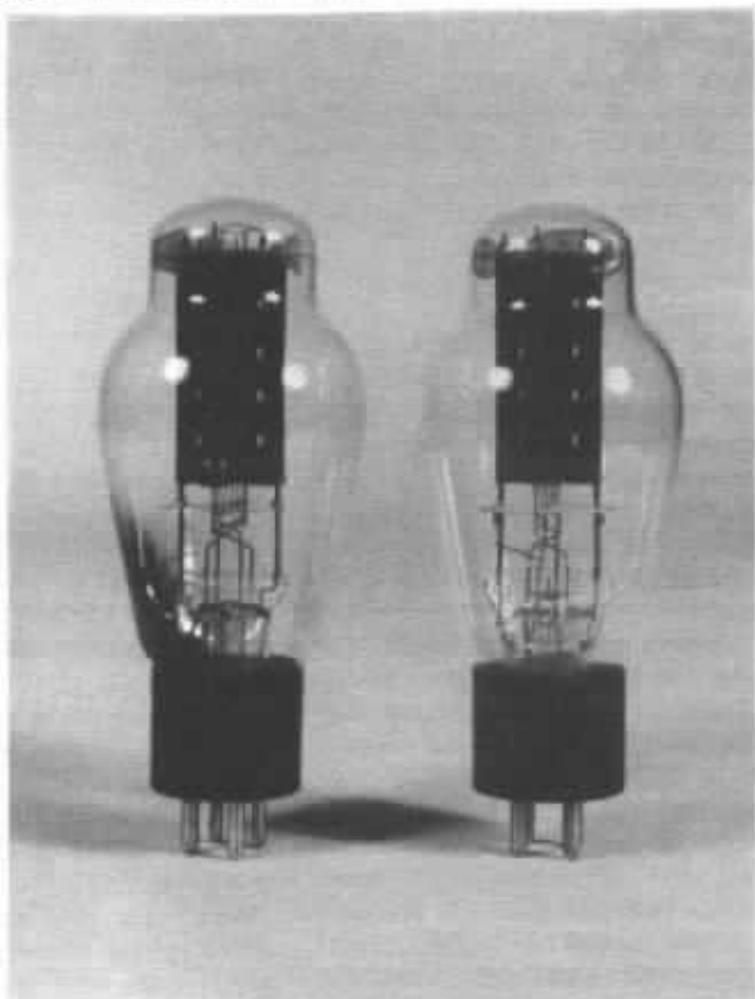
| | |
|--------------------------------------------------|---|
| Condensateur Shizuki Polypro 0,47 μ F 200 V | 2 |
| Condensateur Ero MKC 2,2 μ F 250 V | 2 |
| Condensateur tantale CTS13 150 μ F 16 V | 2 |
| Condensateur cuivre 10 000 pF | 2 |
| Condensateur polypropylène 8 μ F 250 V DC | 2 |
| Condensateur polypropylène 24 μ F 250 V DC | 4 |
| Condensateur polypropylène 50 μ F 250 V DC | 2 |
| Résistance bobinée alu 1 k Ω non selfique | 2 |
| Résistance carbone 2 W 30 k Ω | 2 |
| Résistance carbone 2 W 150 k Ω | 4 |
| Résistance tantale 180 Ω | 2 |
| Résistance tantale 1,2 k Ω | 2 |
| Résistance tantale 3,3 k Ω | 2 |
| Résistance tantale 220 k Ω | 4 |
| Résistance tantale 270 k Ω | 6 |
| Support 4 broches VT52/300B | 2 |
| Support 6 broches 310 A | 2 |
| Support octal châssis | 2 |
| Transfo Partridge TK 4519 | 2 |
| Tube 300B Cetron | 2 |
| Tube WE 310B Western Electric | 2 |

Alimentation

| | |
|---------------------------------------------------|---|
| Condensateur RTC polycarbonate 0,47 μ F 630 V | 4 |
| Condensateur chimique axial 47 μ F 500 V | 6 |
| Condensateur chimique vis 220 μ F 450 V | 4 |
| Câble secteur 15 A | 2 |
| Fusible 10 A | 2 |
| Interrupteur marche/arrêt 1 A | 2 |
| Porte-fusible standard 6,3 x 32 | 2 |
| Résistance bobinée 30 Ω 3 W | 4 |
| Résistance carbone 1 W 10 k Ω | 4 |
| Self alimentation 10 H 150 mA | 4 |
| Transformateur alimentation HT + fil triode | 2 |
| Tube 5R4WG Chatham USA | 2 |

Accessoires

| | |
|---------------------------------------|---|
| Borne HP Mitchell métal | 4 |
| Câble HD Lily 1 mm ² rouge | 3 |
| Câble HD Lily 1 mm ² noir | 3 |
| Câble HD Lily 1 mm ² gris | 3 |
| Câble THD Isoda HB-3160 | 2 |
| Fiche Cinch femelle châssis | 2 |
| Potentiomètre 100 Ω 3 W | 2 |



A gauche, 300 B Cetron ; à droite 300 B Western Electric. Noter la très grande similitude.

Tableau des composants pour une paire d'amplificateurs monophoniques 300 B.

Le système de M. Atsuta

Jean Hiraga

Nous vous avons présenté dans ces colonnes, à de nombreuses reprises, de grands systèmes japonais. Toutefois, ceux-ci étaient réalisés à partir d'éléments artisanaux. Nous avons le plaisir de vous présenter le système de M. Atsuta qui, lui, est réalisé à partir d'éléments commerciaux de très haut niveau. Nous tenons à remercier la revue japonaise Stereo Sound pour le crédit photographique.

Si le Japon est devenu le plus gros producteur mondial de maillons haute-fidélité, ce pays a toujours été, depuis les années 50, le plus important consommateur de produits de haut de gamme américains ou européens. Pour des firmes comme JBL, Altec, Mac Intosh, Marantz, Quad, SME, Tannoy, Shure, Mark Levinson et bien d'autres, le Japon a parfois absorbé à lui seul près de 80 % de la production totale de chacun de ces constructeurs célèbres. En ajoutant à cela un choix de supports enregistrés qui a toujours été très vaste et des prix de vente tout à fait raisonnables il s'est ainsi formé au Japon un

nombre très impressionnant d'audiophiles, de passionnés de reproduction sonore de haute qualité.



M. Atsuta. (Photo Stereo Sound).

Aujourd'hui, les installations que l'on pourrait qualifier «d'imposantes» se chiffrent aux environs de 50 000. Parmi celles-ci un bon millier de systèmes atteignent un niveau de sophistication frisant l'incroyable. Certains d'entre eux ont fait l'objet d'une description dans la Nouvelle Revue du Son. Ces articles, qui ont beaucoup intéressé nos lecteurs ont permis de constater que ces installations fabuleuses n'étaient pas toujours celles d'amateurs très fortunés. Elles ne consistaient pas, contrairement à ce que certains auraient pu imaginer, à rassembler sans goût ni bon sens des matériels très onéreux, ceci dans un but



Le grand auditorium de 100 m³ de M. Atsuta. On y trouve, mis à part le grand téléviseur Sony «Profeel», les enceintes dans le plafond permet le remplacement rapide d'une grande paire d'enceintes par une autre. (Photo Stereo Sound).



JBL Paragon, 4350, D 31050 et Project Everest DD 55000. Le système de treuil télécommandé et de trappe logée



L'enceinte JBL 4350 modifiée. Celle-ci est suspendue par l'intermédiaire d'un treuil équipé d'une télécommande. Sur l'enceinte, à droite prend place le tweeter à ruban «Pyramid T1» monté en parallèle sur le JBL 2405. (Photo Stereo Sound).

plus proche du snobisme plutôt que dans le but d'essayer de reproduire la musique et les sons avec le maximum de fidélité. Certains systèmes, certaines installations sont parfois le fruit de longues années de recherche, de mise au point. Parfois, celles-ci comprennent des auditoriums méritant vraiment ce nom, avec des caractéristiques acoustiques exceptionnelles ou bien encore avec des pavillons encastrés dans les murs ou dans le plafond. Passionnés de musique, ces amateurs possèdent parfois 5 000 ou même 10 000 disques, ceci en plus d'une culture musicale qui ne manque pas d'étonner.

Le système de M. Atsuta réunit les marques les plus prestigieuses. Il ne s'agit même pas d'un, mais de plusieurs systèmes dont la description détaillée risquerait de remplir de nombreuses pages. Un article fort impressionnant sur l'installation de M. Atsuta est paru récemment dans le numéro 80 de la revue japonaise «Stéréo Sound» (Automne 86). Aussi avons nous pensé qu'une adaptation résumée de cet article ne manquerait pas d'intéresser nos lecteurs.

M. Atsuta, qui habite dans la banlieue de Tokyo, doit être considéré comme «un vieux de la vieille» dans le domaine de la

haute fidélité. Entre ses mains, entre ses oreilles est passée pour ainsi dire la totalité des maillons de haut de gamme qui ont été mis sur le marché à partir des années 50. Ce passionné a également construit lui-même près de 150 amplificateurs à tubes et à transistors. Agé aujourd'hui d'une soixantaine d'années, M. Atsuta dirige la société Atsuta Steel Industries, une société qui réalise des maquettes de voitures et d'avions (étude de l'esthétique, de l'aérodynamisme, de la résistance mécanique, optimisation sur ordinateur, etc.). Au cours des dernières années, il a pu installer dans son grand auditorium de 100 m² (des salles d'écoute aussi grandes sont très rares au Japon) les maillons les plus prestigieux que l'on puisse trouver sur le marché. De retour de son usine, dans laquelle on trouve souvent la maquette à l'échelle 1 d'une voiture qui doit paraître sur le marché dans les mois à venir, M. Atsuta peut alors se consacrer à sa grande passion.

Par rapport à la plus importante majorité des «grands» systèmes japonais, l'installation de M. Atsuta est nettement avantagée par son auditorium de très grandes dimensions. Cet auditorium n'est pas, contrairement aux habitudes, une pièce qui a été transformée en salle d'écoute. Elle a été construite spécialement pour cette application, sur les conseils d'un acousticien célèbre au Japon. Généralement, une salle d'écoute de 60 ou de 80 m² ne comporte pas de plafond situé à une hauteur idéale. Il en résulte des réflexions secondaires dans le plan vertical qui vont perturber sérieusement l'effet stéréophonique. Ici, la hauteur sol/plafond atteint 5 m, c'est-à-dire une hauteur idéale. Les proportions de la pièce ont un rapport de 1, 1,6 et 2,9. Ceci correspond aux dimensions idéales d'une pièce d'écoute dont les

rapports de proportion largeur/longueur/hauteur sont basés sur le nombre d'or acoustique.

Les grandes enceintes sont populaires au Japon parmi les audiophiles, mais ces derniers n'ont souvent ni les moyens financiers ni la place pour acquérir plusieurs paires d'enceintes. M. Atsuta a dépassé ce problème en faisant construire une seconde pièce au-dessus de son auditorium. Au-dessus des paires d'enceintes en position d'écoute se trouve une ouverture aménagée dans le plafond. A la partie supérieure de cette ouverture se trouve une trappe (destinée à éviter un couplage acoustique entre l'auditorium et le local situé au-dessus). Grâce à deux treuils télécommandés, M. Atsuta peut placer rapidement en position d'écoute des enceintes pouvant peser jusqu'à 500 kg !

Dans la pièce supérieure, les enceintes en «stock» sont posées sur des plateaux à roulettes, assurant un acheminement très facile jusqu'à la hauteur des treuils (montés sur rails). En l'espace de quelques minutes M. Atsuta peut ainsi retirer une paire de JBL Everest et les remplacer par l'enceinte stéréophonique Paragon ou bien par une paire d'enceintes à pavillon. De toute évidence, bien peu d'ama-

teurs pourraient se permettre ce luxe. De son côté, M. Atsuta peut se vanter de pouvoir comparer, dans des conditions semblables, deux paires d'enceintes de grandes dimensions.

Le système de treuil permet aussi de suspendre les enceintes à une hauteur voulue en évitant le contact de celles-ci avec le sol. De sa position d'écoute habituelle, M. Atsuta peut, s'il le désire, modifier la position en hauteur des enceintes grâce à sa télécommande. Ce système nous rappelle un peu, mais en beaucoup moins sophistiqué, le centre de l'IRCAM à Paris où il est possible de modifier instantanément l'acoustique ou la hauteur du plafond.

Quatre paires d'enceintes sont principalement utilisées dans cet auditorium. Toutes ces enceintes sont de type à haut rendement. La JBL 4350, commercialisée en 1973 comprend deux haut-parleurs de grave de 38 cm (2231 A), un haut-parleur de bas-médium 2202 A, une voie médium (2441 + pavillon 2395) ainsi que le tweeter 2405. Sur cette voie, M. Atsuta a ajouté en parallèle un tweeter à ruban (Pyramid T1). La seconde paire est une combinaison JBL/Altec. M. Atsuta a travaillé pendant une longue période sur cet

ensemble. Après différents essais sur d'autres enceintes JBL et Altec, il s'intéressa aux haut-parleurs grave d'origine JBL. Successivement il essayait les fameux LE 15, LE 15A, suivis des 150-4 (32 Ω) puis plus récemment des 150-4C (utilisés sur les Everest). La meilleure combinaison trouvée était finalement l'association de deux Altec 515C et de l'enceinte JBL à pavillon frontal D 31050. Dans le médium-aigu, il y associait le pavillon Altec 10 cellules 1005 B couplé à deux chambres de compression (par pavillon) Altec 288 C. L'aigu était confié au tweeter Gauss 1502.

Son troisième système est le fameux Paragon JBL D 44000, une enceinte double à effet stéréophonique constant. Les premiers prototypes de cette enceinte utilisaient un haut-parleur grave que l'on considère, à juste titre, comme le meilleur parmi toutes les versions JBL réalisées jusqu'ici, le 150-4C. Une autre version existait à cette époque (années 60), le 150-4 (32 Ω) et la dernière version de ce haut-parleur est le 150-4H (à aimant ferrite) utilisé sur l'Everest. Les autres versions Paragon commercialisées plus tard utilisèrent le LE 15, le LE 15A puis le LE 15H. Quant à M. Atsuta, il



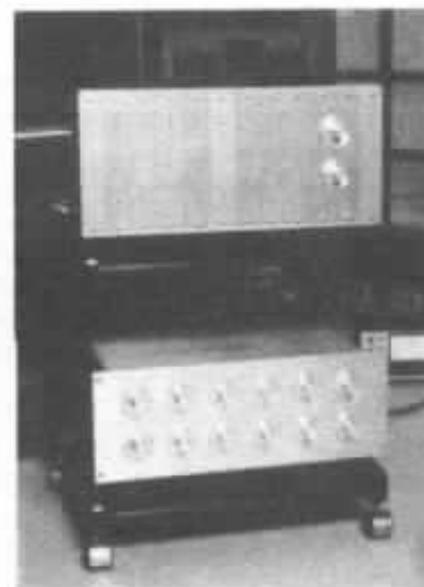
Préampli GAS, Thaedra, JBL SG520, lecteur CD Studer A725 et Sony CDP101.



Table de lecture Denon DP100 + bras EMT 997. Au-dessous, table Yamaha PX1.



Ensemble Mark Levinson JC-2, LNP-2, LNP-2L et ML-6. Threshold SL 10.



Ensemble Cello Audio Suite et Audio Palette.

se vante d'être l'heureux possesseur d'un des premiers prototypes de l'enceinte Paragon D 44000, la version actuelle (toujours fabriquée par JBL) portant la référence D 44000 WXA.

La quatrième paire d'enceintes est la JBL Everest DD 55000. De petites modifications furent apportées sur cette enceinte. Des mesures en milieu semi-réverbérant dévoilent un relevé de niveau dans la bande 100-150 Hz. JBL, conscient de ce petit problème, avait déjà prévu sur son filtre une correction atténuant cette résonance. De son côté, M. Atsuta a perfectionné ce filtrage, éliminant totalement cette non-linéarité. Dans le médium-aigu, M. Atsuta reprochait également au pavillon asymétrique 2342 de présenter des petites résonances provenant, selon lui, de la construction en matière synthétique. Actuellement, il construit deux types de pavillons de forme semblable en bois et pense obtenir ainsi un taux de coloration sonore plus réduit. C'est cette paire de DD 5500 Everest que M. Atsuta écoute le plus souvent.

Du côté électronique, les amplificateurs de puissance sont des Threshold Stasis I et Stasis II, Ampzilla, Godzilla de GAS, Sumo The Gold, JBL SE 400 et SE 401, Mac Intosh MC 2500 et «quelques autres». Les préamplificateurs sont plus nombreux. Mark Levinson JC-2, LNP-2, LNP-2L, Threshold, GAS Thaedra, JBL 520 et «quelques autres». Le fameux ensemble préamplificateur-correcteur de Cello Audio Suite (Audio Palette, le plus utilisé est monté sur un rack mobile séparé).

Après avoir essayé bien des tables de lecture, M. Atsuta a retenu comme choix final (du moins pour le moment) la Denon DP 100 sur laquelle il a posé un bras EMT 997 (très coté au Japon). Les cellules de type MC sont d'origine EMT, Thorens,

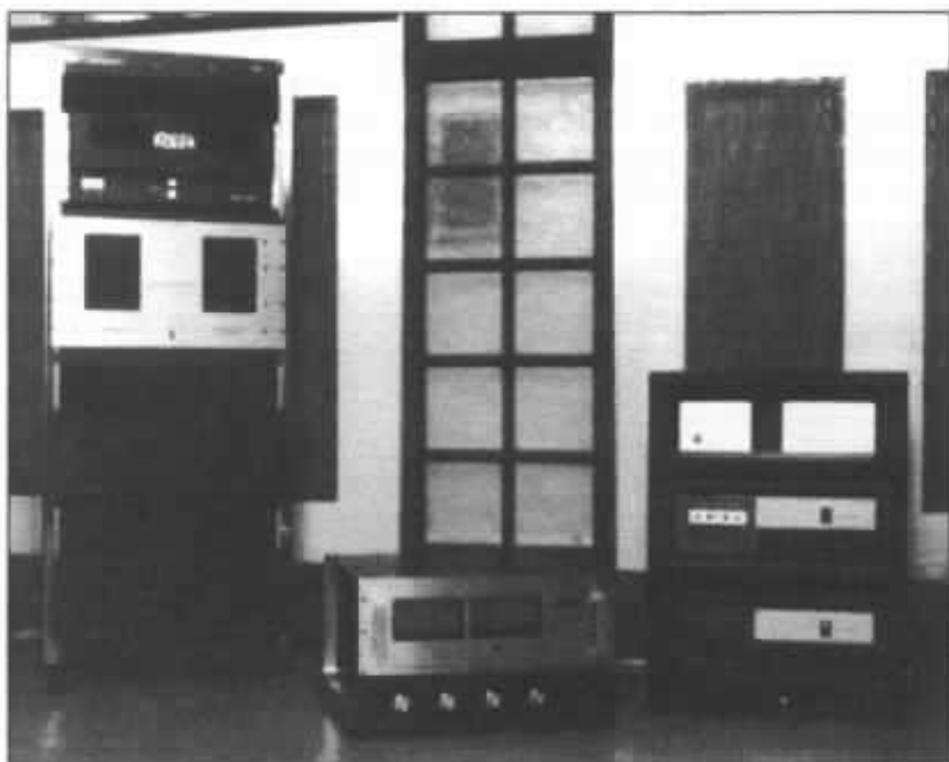
Ortofon, Shure, etc., etc., etc. (une bonne centaine de modèles !).

Pour les lecteurs de compact-disc, M. Atsuta est un peu plus hésitant. Il utilise pour le moment le Studer A 725 ainsi qu'un Sony CDP 101 mais préfère attendre la sortie d'un certain nombre de lecteurs de très haut de gamme pour prendre une décision.

On trouve, dans cette installation fabuleuse, des maillons qui sont parfois extrêmement rares. C'est le cas de l'enceinte Paragon (prototype qui a précédé les premières fabrications en petite série). C'est le cas d'une table de mixage qui a été fabriquée par Mark Levinson pour réaliser les disques portant la même marque (il s'agit d'un appareil qui a été conçu uniquement pour les besoins de la firme Mark Levinson). C'est encore le cas de plusieurs chambres de compression et de préamplificateurs JBL qui portent des numéros de série tels que 00004 ou 00009.

Mais ce n'est pas tout. La pièce voisine, la pièce située au-dessus de son auditorium sont de véritables cavernes d'Ali Baba, de quoi rendre «baba» bien des audiophiles qui pensaient pourtant avoir atteint les dernières limites de la folie audio.

Il est vrai que cette installation a de quoi étonner. Cependant, M. Atsuta fait très justement remarquer que des maillons de très haut de gamme doivent tout naturellement s'associer si l'on souhaite en tirer le meilleur parti. Trop souvent dit-il «on ne se rend pas compte des possibilités réelles de l'enceinte Everest, de l'amplificateur Godzilla ou de la table de lecture Denon DP 100 pour la simple raison qu'un ou plusieurs maillons (acoustique comprise) ne sont pas du tout à la hauteur du reste.» L'excellente mémoire auditive de M. Atsuta lui permet de décrire avec précision le résultat subjectif provenant d'une association donnée de maillons (parmi plusieurs centaines de possibilités).



Une (petite) partie de l'électronique utilisée par M. Atsuta. Amplificateur GAS Godzilla, Sumo «The Gold», JBL SE 400 et SE 401. Toutes les enceintes en bi ou en triamplification active.

De ce fait, l'auditorium de M. Atsuta sert de véritable laboratoire d'évaluation subjective pour de nouveaux produits, de nouveaux prototypes. Grâce à M. Atsuta, l'importateur de l'amplificateur X, de l'enceinte Y pourra cerner parfaitement la personnalité sonore de ceux-ci. Il pourra également prendre note des associations de maillons les plus favorables, ce qui n'est pas toujours à la portée d'un importateur, d'un revendeur ou d'un particulier.

La marque d'enceintes la plus appréciée de M. Atsuta est JBL, ceci depuis de longues années. Il y a 35 ans, il possédait déjà les premiers haut-parleurs, vendus à cette époque sous la marque «Lansing». M. Atsuta a été l'heureux possesseur de la presque quasi-totalité des enceintes JBL. L'un de ses premiers grands systèmes était composé de l'enceinte C50 Olympus associée à des moteurs et pavillons JBL dans le médium-aigu. Le tout était triamplifié. A cette époque, M. Atsuta utilisait des électroniques Mac Intosh et Marantz.

Il est fort curieux de constater que cette imposante installation ne comporte pas d'électronique «maison». M. Atsuta explique qu'il a réalisé des électroniques à tubes et à transistors parfois très perfectionnées, lesquelles seraient parfaitement en mesure de rivaliser avec des modèles prestigieux. «J'ai surtout cherché à tirer le maximum des possibilités offertes par des appareils très connus, en n'y apportant des modifications que dans des cas de force majeure. Sur une bonne partie des enceintes JBL de série «Hi-Fi» ou professionnelle, l'équilibre sonore est le plus souvent adapté à une pièce d'écoute de grandes dimensions assez amortie.» L'écoute «monitoring» devant être aussi analytique que possible, ces mêmes enceintes écoutées à 3 ou 4 mètres de distance dans un

local dont l'acoustique est plus claire ont pour effet de projeter le médium et le médium-aigu en avant. Dans une petite salle d'écoute acoustiquement claire, aux murs lisses et parallèles, le «flutter echo» s'additionne à cet équilibre peu agréable, ce qui produit un son qui devient cette fois franchement mauvais. Dans un local plus grand et convenablement traité, les résultats s'améliorent. Sur la 4350, enceinte de monitoring, le registre de médium et de médium-aigu est trop en avant. Le niveau sonore produit par le 2202 A semble légèrement trop bas, mais une correction à ce niveau n'est possible que dans le cas d'une multi-amplification. Le niveau de médium-aigu est par contre trop élevé. Le moteur concerné étant le 2441, on se trouve donc obligé d'insérer juste avant celui-ci un atténuateur à impédance constante. Une atténuation de l'ordre de 4 à 5 dB suffit pour que l'on retrouve un bon équilibre. Les autres réglages auxquels on a accès sur la 4350 aidant à parfaire l'équilibre tonal et la linéarité subjective. Dans ces conditions et lorsque les 4350 sont bien assorties avec les autres maillons, on peut obtenir de très bons résultats d'écoute, à croire que les JBL sont faites pour l'opéra ou pour la musique classique.

Cette constatation de la part de M. Atsuta se retrouve chez de nombreux autres audiophiles japonais. «Bien réglée, ajoute-t-il, une enceinte JBL (un modèle de haut de gamme) est l'opposé total de ce que peuvent s'imaginer les non-initiés ou ceux qui n'ont pas su les régler correctement. Le son des bonnes enceintes JBL est très dynamique, très bien articulé certes, mais il n'y a pas que cela. Les sons doux, de faible amplitude, les nuances, la profondeur, les timbres sont transcrits avec une fidélité exemplaire. Le tweeter 2405 devient alors aussi fin, aussi délié que le



Enceinte JBL D 31050 avec voie grave équipée de deux Altec 515 C avec pavillon. Le médium est confié à 2 moteurs Altec 288 C associés au pavillon 10 cellules 1005 B. Dans l'aigu, le tweeter Gauss 1502 prend le relais. (Photo Stereo Sound).

meilleur des tweeters à ruban.»

M. Atsuta écoute surtout de la musique classique et en particulier de l'opéra ou des voix célèbres telles que Melba, Caruso, Chaliapine ou Maria Callas. Comme c'est le cas de beaucoup d'audiophiles, M. Atsuta regrette de ne pouvoir consacrer plus de temps à son installation.

Mais cet audiophile japonais tient à donner quelques explications aux visiteurs surpris par l'étonnante richesse de cette installation. «Ne croyez pas que tout ce matériel peut s'acheter en quelques mois : parmi ma «collection» il y a des maillons que j'ai achetés il y a deux ans et que je continue de payer à crédit. Il m'arrive aussi d'avoir l'occasion d'échanger une paire d'enceintes contre d'autres maillons. Même pour moi, président d'une société de moyenne envergure, le matériel de haut de gamme reste vraiment très cher !»



La table de lecture et le bras 3E

Guy Marec

L'étude en France et l'apparition, très vraisemblablement prochaine sur le marché, d'une table de lecture et d'un bras, de hautes qualités, est un évènement rare qui méritait d'être noté.

L'Audiophile se devait d'être la première revue à présenter ce nouveau matériel à ses lecteurs.

En Europe, à l'époque de «l'audionumérique» étudier, réaliser et vouloir commercialiser une table et un bras de lecture peut passer pour une gageure. En réalité, quand on connaît la qualité réelle que peut atteindre un enregistrement gravé et les difficultés rencontrées par les audiophiles pour tirer le maximum d'informations de leurs disques, l'opération a une finalité et mérite d'être tentée. Le marché du disque gravé est, de plus, loin de toucher à sa fin et les trésors de musiques gravées qui ne seront jamais numérisées justifient cet effort.

D'un point de vue plus Audiophile, le dédain des grands Audiophiles japonais pour la qualité de la musique issue des disques compacts, est un argument de poids.

Il est peut-être un peu plus aisé, dans ces conditions, de comprendre que la firme «3 E» solidement implantée et qui n'a aucun besoin de cette activité supplémentaire pour «tourner» confortablement, ait été tentée par l'expérience.

Mais qui donc est «3 E» ?

Sous ce sigle signifiant «Entreprise Engineering et Etudes» se cache un bureau d'études grenoblois d'une trentaine de personnes et dont le chiffre d'affaires atteint 10 millions de nos francs.

Créée en 1976, sous sa forme actuelle, cette entreprise s'intéresse à tous les problèmes technologiques particuliers posés par la mécanique, la manutention, la technique des fluides, la cryogénie et le génie nucléaire. A titre d'exemple, elle a participé à l'étude du 3^e étage de la fusée Ariane en réalisant des machines de contrôle dimensionnel et des outillages de haute précision pour le compte de la société «Air liquide». L'éventail des possibilités de cette entreprise est donc vaste et son intervention dans un problème quelconque peut aller de la simple étude jusqu'au suivi de fabrication et à la livraison «clé en main».

Les clients de «3E» sont principalement de grandes entreprises ou de grandes administrations : le CEA, Thomson-CSF, Ugine Kulhmann, Rhône-Poulenc Pétrochimie... la liste exhaustive dépasse le cadre de ce qui ne veut être qu'une présentation rapide.

Quelles raisons ont poussé «3E» à s'intéresser à un secteur aussi peu rentable que l'Audio, et l'Audio de très haut niveau de surcroît ? La réponse est évidente quand on connaît Pascal Larosa, PdG de l'entreprise, Audiophile de longue date, mélomane passionné et amateur de vrai jazz ! Insatisfait du matériel disponible sur le marché, en particulier pour la lecture de disques, c'est en étudiant pour son usage personnel une table et un bras qu'il s'est dit pourquoi pas ? Pourquoi ne pas conduire cette étude comme tout autre projet industriel et commercialiser le matériel s'il se révélait être de haute qualité ? La différence de travail étant minime et la mise de fond négligeable à ce niveau,

l'expérience était intéressante et a donc été tentée.

Pascal Larosa ne se lançait pas sans expérience. Il avait, dès 1960, équipé une platine Barthe Rotofluide d'un bras de sa fabrication, bourré de graisse pour amortir les vibrations du tube ! Qui, à l'époque, se préoccupait de vibrations de bras de lecture ? Ce premier modèle était déjà un bras long et les différences subjectives sensibles même avec les moyens d'écoute dont il disposait à l'époque.

La curiosité de P. Larosa ne s'est pas limitée aux éléments mécaniques des chaînes. Il a même réalisé des amplificateurs et un tuner FM à tube qui marchait remarquablement bien et dont il a même dû bobiner les transformateurs moyenne fréquence.

Il est évident que les conditions techniques, matérielles et psychologiques étaient réunies pour étudier un matériel Audio de haute tenue. Regrettons simplement que cette opération n'ait pas été menée dix ou vingt ans plus tôt... la face de la hifi en eut peut-être été bien changée pour certains !

Deux choses surprennent quand on utilise et observe avec un peu d'attention cette nouvelle table de lecture et son bras : l'originalité de certaines solutions apportées aux vieux problèmes de la lecture des disques gravés et la qualité de la réalisation. Il apparaît rapidement que les choix techniques n'ont pas été influencés par des «à priori» mais faits en fonction de critères techniques précis et d'essais systématiques. Ce matériel se détache très nettement par sa qualité de produits commerciaux dits «prestigieux» qui ont souvent à tort fait rêver les Audiophiles ces dernières années.

1. La platine

L'éventualité d'une diffusion

commerciale étant envisagée, 3E a choisi d'étudier une platine légère à contre-platine suspendue, plutôt qu'une platine lourde beaucoup plus difficile à implanter correctement en «ambiance domestique»... Légère, c'est tout de même un peu relatif car l'ensemble monté et équipé de son bras dépasse 21 kg. Le socle massif n'entre que pour 10 kg dans ce total. Pour éviter toute génération de vibrations parasites et freiner leur propagation, ce socle est taillé dans un bloc de permali, matière assez inerte constituée d'un sandwich de bois et de résine époxy pressé, à haute température et forte pression. Coïncidence intéressante, c'est ce matériau qui a aussi été choisi par ONKEN pour l'infrastructure de sa platine.

1.1. La contre-platine

De structure assez originale et d'une facture remarquable, elle est constituée de quatre éléments principaux (se référer à la figure n°1).

- Un triangle support
- Un support de bras
- Un faux plateau ou contreplateau
- Un plateau proprement dit.

Le triangle support en alliage d'aluminium anodisé sert de support à l'ensemble de la contre-platine et repose sur le socle par l'intermédiaire de trois ressorts coniques qui constituent la suspension. Ces trois ressorts sont découplés du socle et du triangle par des rondelles d'élastomères (se référer à la figure n°2).

Le support de bras en alliage anodisé aussi est posé sur le triangle. Le bras est monté sur le support par l'intermédiaire d'une pièce en permali. Il est possible de monter un bras long ou un bras court. Cette pièce intermédiaire apporte un découplage supplémentaire du bras par rapport à la contre-platine. Un amortisseur de vibrations a été

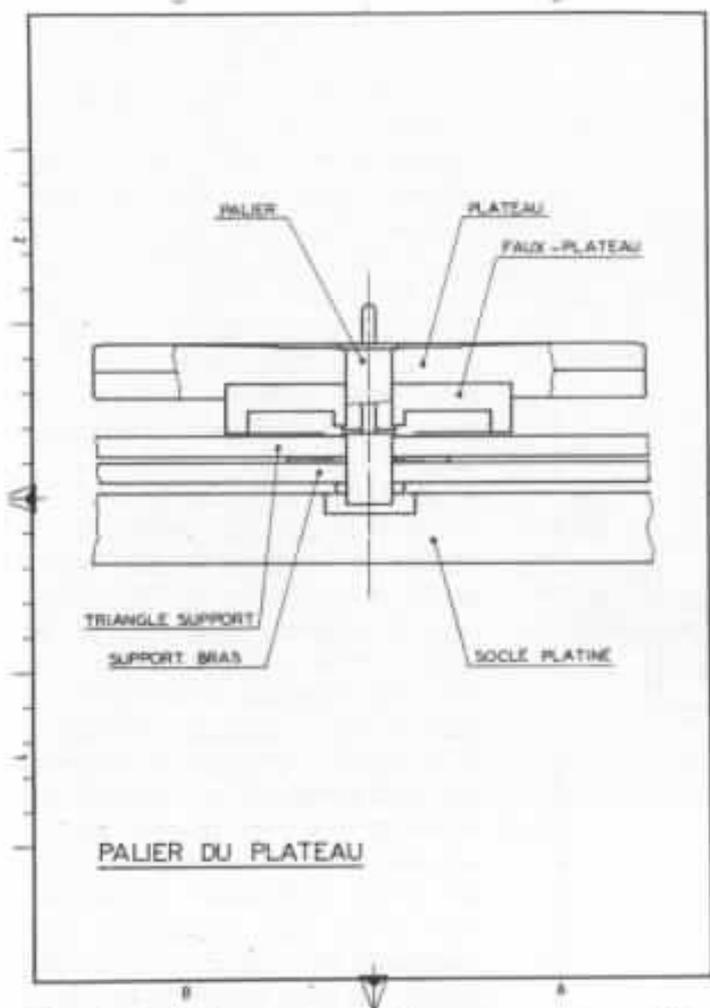


Fig. 1 : Principe de l'assemblage de la contre-platine mettant en évidence la superposition des quatre parties. Noter le profil légèrement conique de la partie supérieure du plateau. Le point de pivotement est situé dans le palier à mi-hauteur du plateau.

implanté dans le support côté bras, il est visible sur les photos. Du côté opposé au bras, ce support est équipé d'un contrepoids qui permet la mise à niveau de la contre-platine. Ce contrepoids est constitué d'un petit réservoir cylindrique rempli de grenaille de plomb. Son couvercle porte un niveau à bulle, accessoire extrêmement utile pour contrôler l'équilibrage.

Le contreplateau sert de support au plateau sur lequel est posé le disque et de poulie d'entraînement. Il est en acier et porte le palier en bronze, monté en force, qui sert au guidage en rotation. Le palier et son axe sont adaptés par rodage, technique utilisée en mécanique de haute précision. Une solution très performante a, d'autre part,

été adoptée pour limiter le frottement sur le point de pivotement : ce point est défini par le point de contact de deux billes, il est difficile de faire mieux. La longévité du système est d'autre part garantie par l'utilisation de billes en carbure.

Le plateau proprement dit, d'une épaisseur de trois centimètres environ est constitué d'un sandwich de plexiglass et d'alliage léger. Sur les premiers prototypes, le sandwich était constitué de plexiglass et de permali. Cet assemblage a été abandonné parce qu'il ne garantissait pas une bonne stabilité dimensionnelle dans le temps. La partie supérieure du plateau, en contact avec le disque n'est pas plate, mais légèrement creuse. Elle est taillée avec une conicité

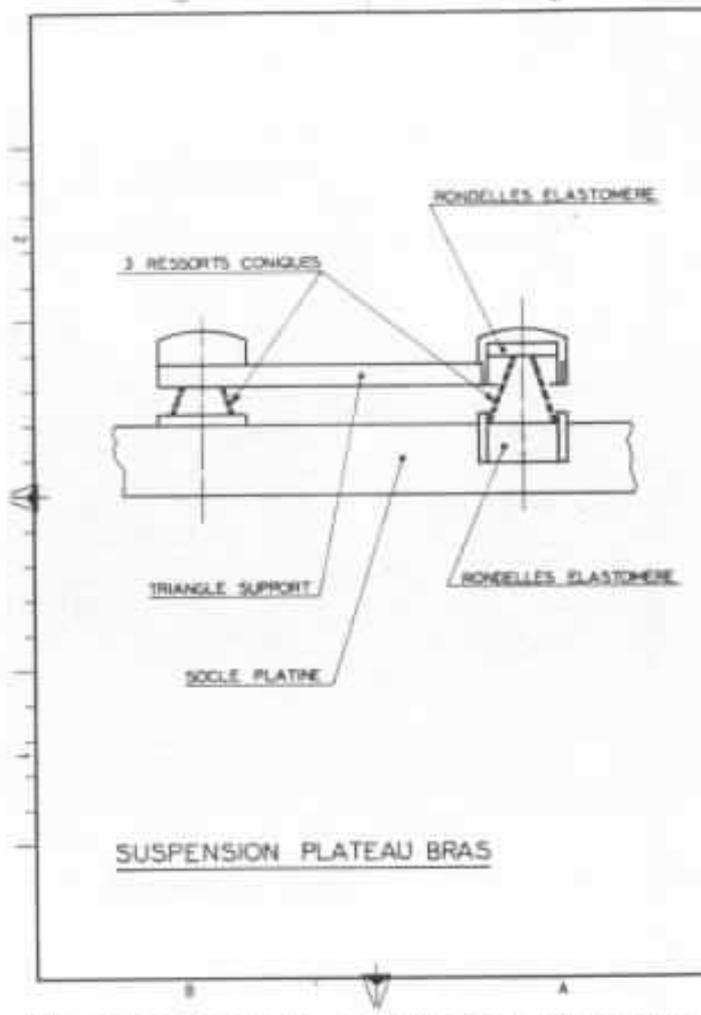


Fig. 2 : Principe de la suspension de la contre-platine. Le découpage complémentaire des ressorts par des rondelles d'élastomère est destiné à freiner la transmission de vibrations dans le haut du spectre.

de 1 degré. Cette technique permet de mieux plaquer le disque au plateau en le déformant légèrement au moyen du palet presseur. On conçoit facilement qu'un plateau réalisé de cette façon soit à la fois très rigide et très neutre et n'apporte pas de coloration au message musical. Cette platine est utilisée sans couvre-plateau.

1.2. La chaîne cinématique

se référer à la figure n°3.

La solution «3 E» au problème de l'entraînement du plateau est très originale. Contrairement à l'habitude qui est d'utiliser un moteur synchrone tournant lentement et générateur de bruits dans le bas du spectre, le

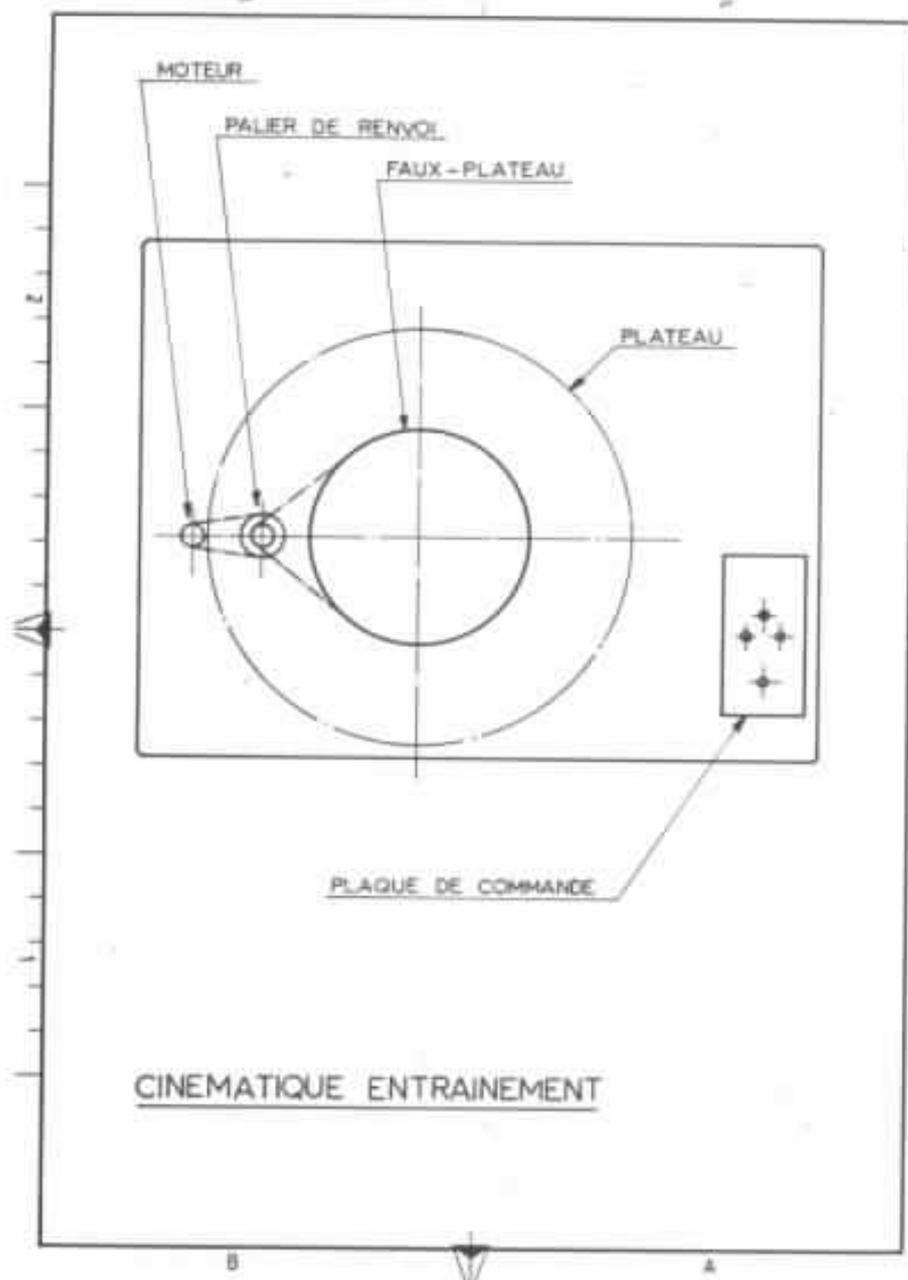


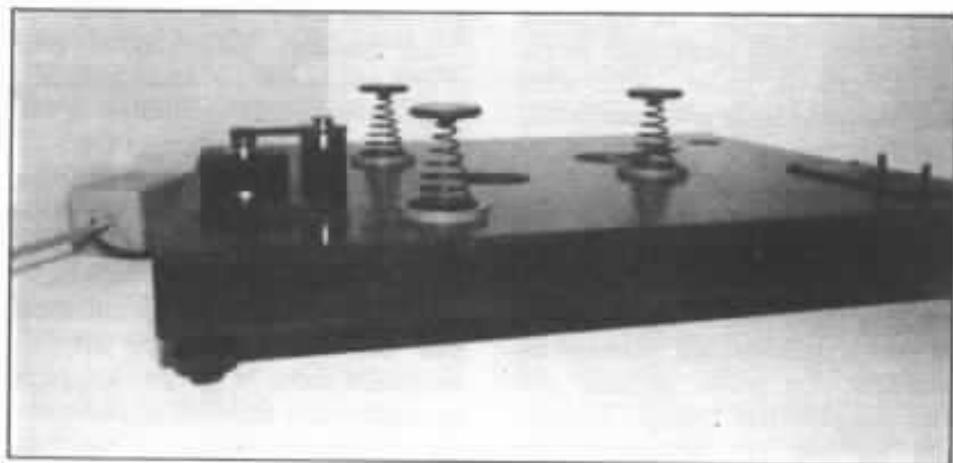
Fig. 3 : Principe de la chaîne cinématique d'entraînement utilisant un palier de renvoi et deux courroies. Cette technique très inhabituelle permet de diminuer considérablement le niveau de bruit.

choix s'est porté sur un moteur tournant vite, entre 800 et 1000 tours/mn. Le spectre de bruit de ce moteur situé plus haut, est donc plus facile à filtrer ou à découpler. L'originalité de la solution adoptée tient d'autre part à l'utilisation d'un palier de renvoi. Ce palier a le double rôle de permettre la réalisation d'un réducteur de vitesse et d'améliorer le découplage moteur-plateau par l'utilisation de deux courroies de transmission. Entre moteur et palier de renvoi une courroie torique en élastomère

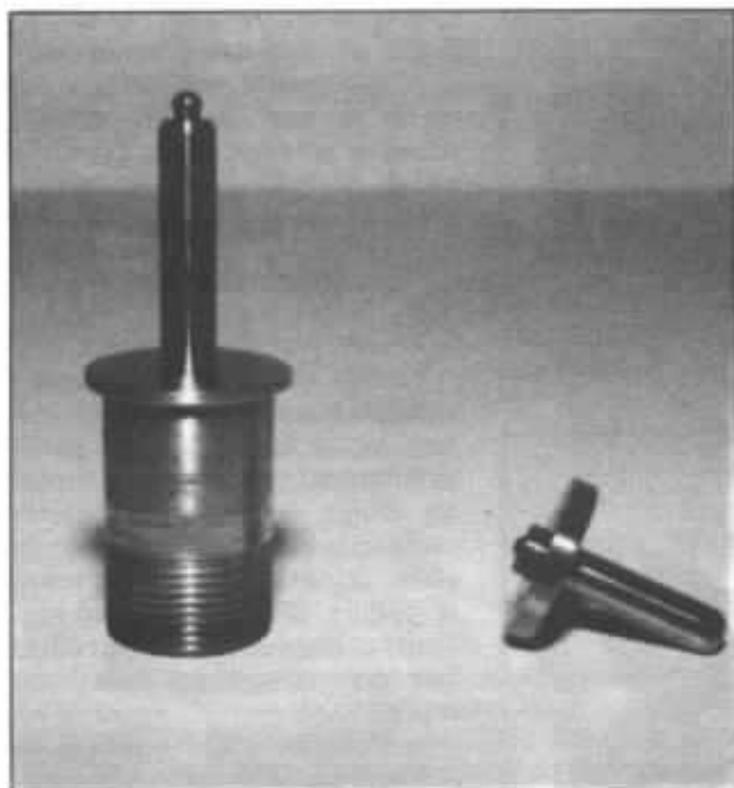
est utilisée ; entre poulie de renvoi et faux plateau c'est un fil très légèrement extensible. Il est aisément concevable que le découplage moteur-plateau ainsi obtenu puisse être de très haute qualité. Le bloc moteur et le palier de renvoi sont très visibles sur la photo n°7. Le moteur d'entraînement est un moteur à courant continu «ESCAP» de très bonne qualité piloté par un petit circuit électronique de régulation. Les deux vitesses 33 et 45 tours/mn sont disponibles.

J'avoue que l'utilisation d'un moteur à courant continu tournant donc vite, m'a, a priori, surpris. Après réflexion, je la trouve très rationnelle et les résultats obtenus confirment la justesse de ce choix. L'utilisation d'un moteur tournant lentement ne peut conduire à d'excellents résultats que si ce moteur est de très haute qualité. Peu le sont, les seuls réellement utilisables sont ceux qui entraînent les cabestans de magnétophones de studio. Ils sont évidemment hors de prix et leurs circuits de régulation assez complexes. La solution «3 E» apparaît dès lors comme un très bon compromis.

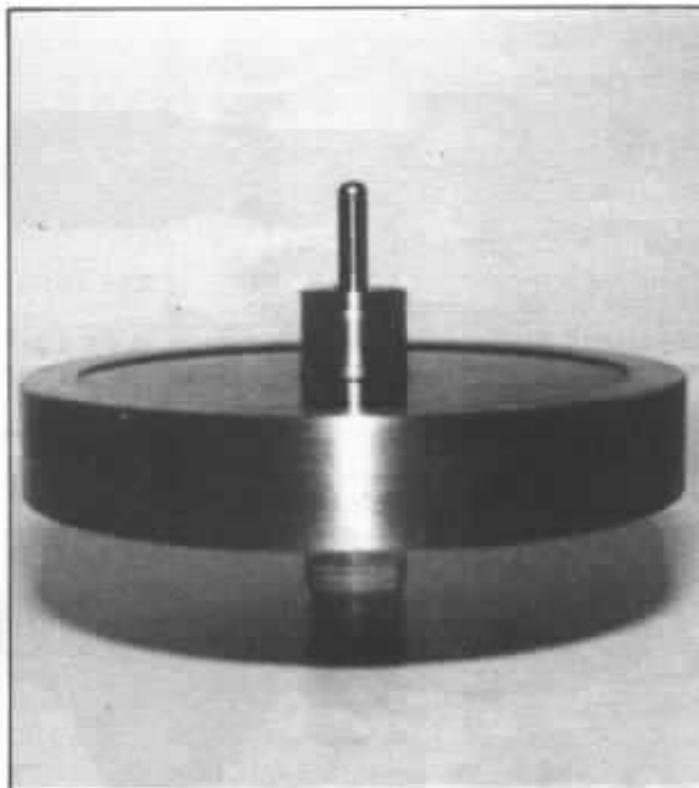
Les photos n°1 à 9 montrent les différentes phases du montage ou du démontage très faciles de l'ensemble. La précision d'usinage de l'axe et du palier, ainsi que d'étanchéité de la cavité où se trouvent les billes



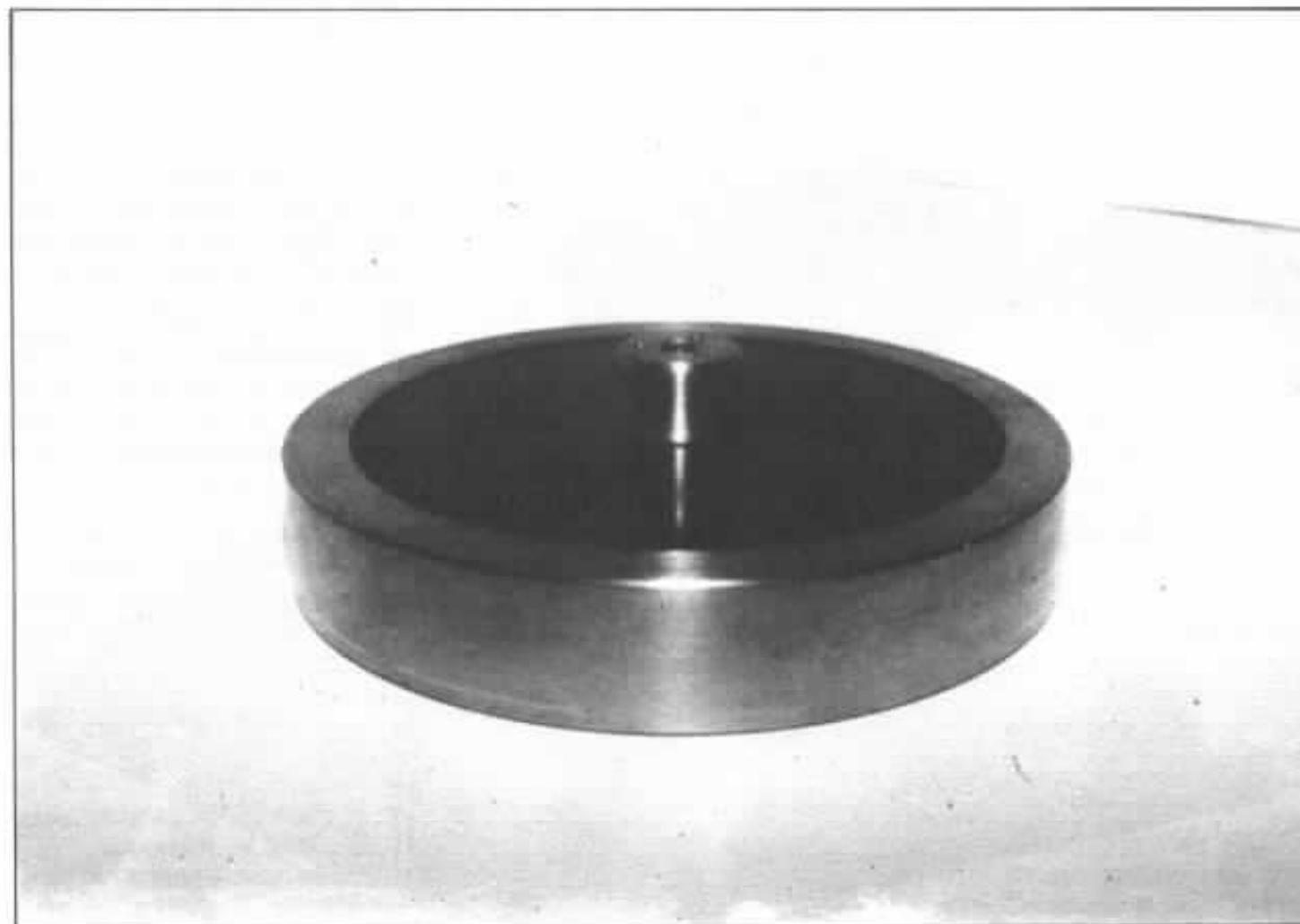
Le socle équipé des ressorts de suspension. Noter à gauche le bloc moteur et le palier de renvoi.



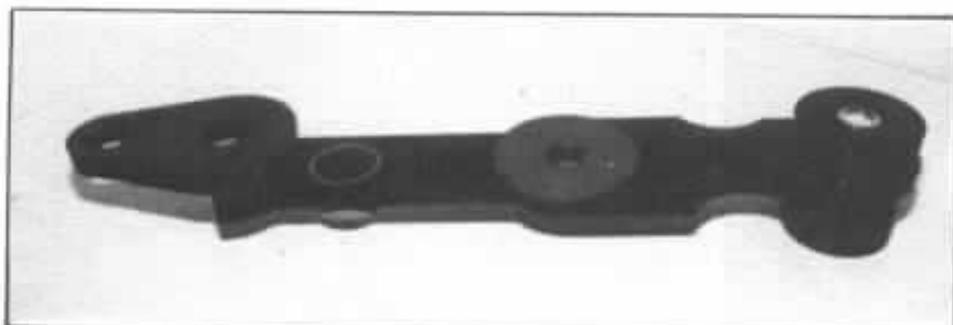
Axe de palier et billes du pivot de la platine.



Le faux plateau et les axes assemblés.



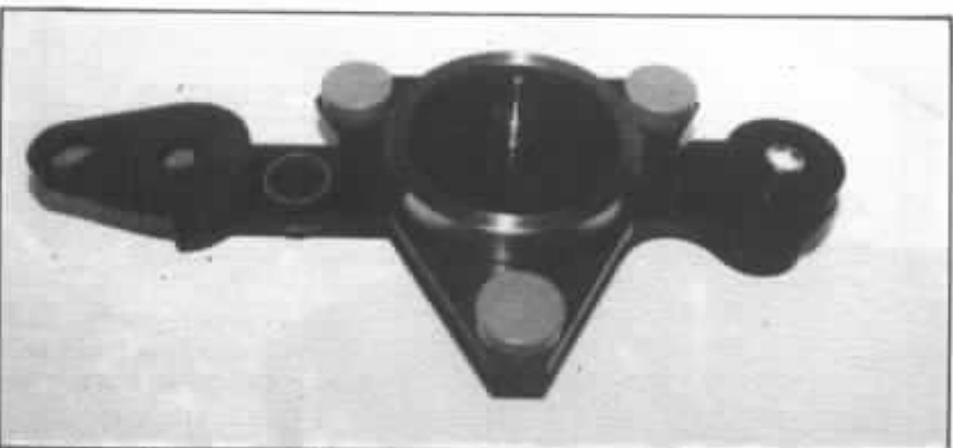
La contre-platine en acier (ou faux plateau) qui supporte le plateau et sert à l'entraînement.



Le support de bras en alliage d'aluminium. Noter à gauche la pièce en permalli où est fixé le bras et à droite le contrepoids. L'amortisseur de vibrations est situé à droite de la pièce en permalli.



Assemblage du support de bras et du triangle-support. Noter les trois points d'appui des ressorts.



La contre-platine assemblée. Il ne reste qu'à poser le plateau.



La contre-platine est posée sur les ressorts de suspension. Noter la facilité évidente de cet assemblage.

sont telles que, après remontage, il faut environ une journée pour que l'ensemble se remette en place et que le film d'huile retrouve son équilibre. En utilisation normale, cette opération n'est jamais réalisée.

2. Le bras de lecture

se référer aux figures 4 et 5

Le bras qui équipe les premiers exemplaires de cette table de lecture est un bras long plus particulièrement étudié pour adapter au mieux les cellules à faible compliance. P. Larosa a, en effet, adopté depuis longtemps la cellule DENON 103 et plusieurs exemplaires de cette cellule ont été utilisés au cours des essais.

A l'origine «3E» a essayé de réaliser un bras long unipivot. Les raisons qui avaient motivé ce choix étaient la facilité de réalisation et l'absence d'usinage difficile, donc cher à réaliser. Plusieurs prototypes ont été réalisés et testés. De nombreuses séances d'essais ont finalement montré qu'il était pratiquement impossible avec ce type de bras d'utiliser une cellule à faible compliance au mieux de ses performances. Il n'a jamais été possible de concilier beaucoup de définition dans les micro-informations, donc dynamique, et tenue aux fortes elongations ou dans les passages musicaux très complexes. La raison exacte n'a pas été déterminée, mais le fait expérimental est là. L'étude s'est alors orientée vers une structure classique à double système d'articulation qui a donné de très bons résultats.

2.1. Caractéristiques du bras

Les dimensions géométriques de base sont les suivantes :

- distance pivot-pointe de lecture 300 mm
- overhang 13,6 mm
- angle d'offset 18°4

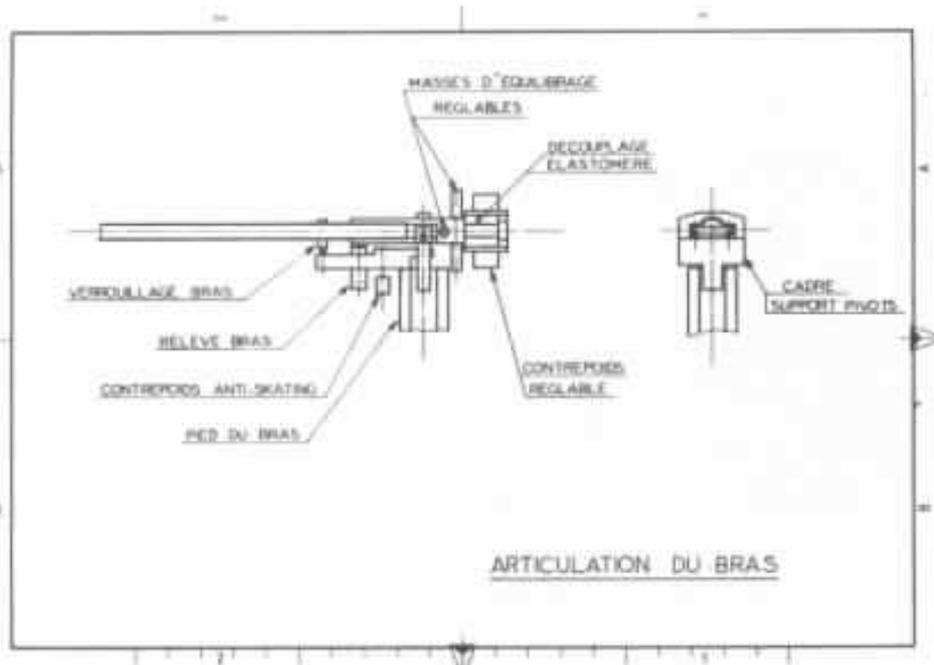


Fig. 4 : Principe de l'articulation du bras de lecture. Les deux roulements qui permettent la rotation du cadre-support des pivots dans le plan horizontal sont situés à sa partie inférieure. Le bras proprement dit est «posé» sur les deux pivots placés dans ce cadre. Noter la position du contrepois de l'anti-skating.

C'est donc bien d'un bras long de pratiquement 12 pouces qu'il s'agit.

La géométrie générale du bras a été étudiée de façon à placer son centre de gravité aussi près que possible de l'intersection des axes de pivotement verticaux et horizontaux et de l'axe du tube. L'expérience montre que la position du centre de gravité a une importance subjective considérable. Elle agit sur la définition, la dynamique et donc la restitution de l'espace sonore. Il est évident que la nécessité d'exercer une

force d'appui sur le diamant oblige à déplacer ce centre de gravité très légèrement vers l'avant. L'adaptation du bras à des cellules de différents poids oblige à prévoir un réglage de la position du centre de gravité latéralement et verticalement.

Le bras a été choisi droit avec un angle d'offset imposé par le porte-cellule. Aucune raison technique ne s'oppose à ce choix alors que les bras coudés présentent théoriquement des «défauts». Il a aussi été choisi de placer la pointe du diamant dans

le plan vertical de l'axe du tube et aussi proche que possible, de cet axe. L'idéal, impossible à réaliser évidemment, serait de placer le point de contact diamant-disque dans l'axe du tube.

Le choix s'est d'autre part porté sur l'utilisation d'un contrepois découplé, placé le plus près possible des axes de pivotement. L'utilisation de ce découplage est un problème qui a fait couler beaucoup d'encre. Des essais ont montré que ce découplage améliorerait la dynamique, il a donc été adopté.

Le dernier problème de fond est celui de l'anti-skating. Son utilité est aussi un sujet de polémiques. Des essais ont montré que la présence d'une compensation de cette poussée latérale apportait un «plus» à la restitution, toujours au niveau de la dynamique et de la restitution de l'espace sonore. Il est évident qu'il s'agit là de détails infimes comme dans le découplage du contrepois et que ces détails ne peuvent être mis en évidence que s'ils ne sont pas «masqués» par des défauts bien plus importants. Je crois que l'origine de bien des polémiques est en partie située là.

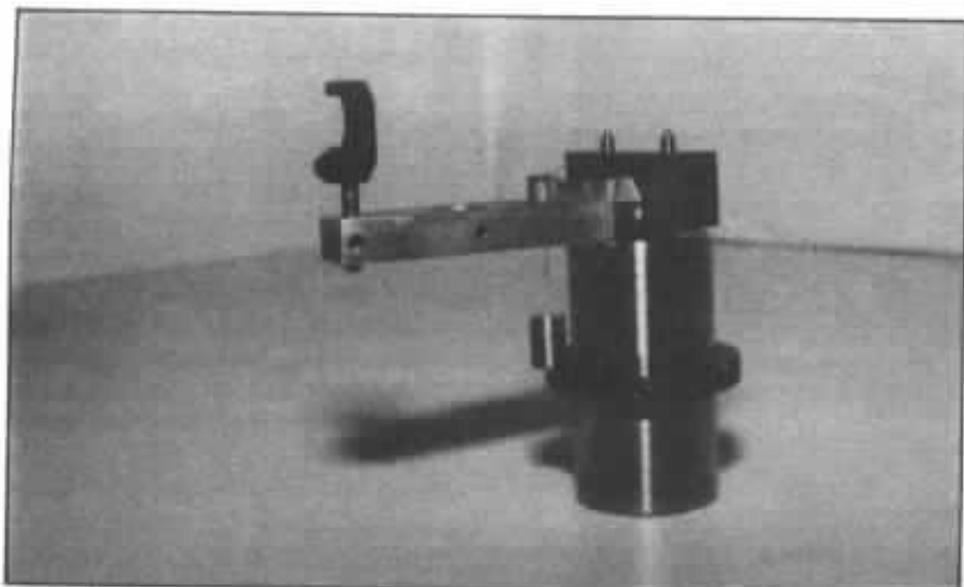
2.2. La réalisation du bras

Le bras a été voulu très rigide pour placer ses résonances le plus haut possible dans le spectre de fréquences et donc les amortir plus facilement. Plusieurs types de tubes ont été essayés. Le choix s'est porté sur un tube de fibre de carbone très rigide. Ses résonances sont amorties en le bourrant de très fine sciure de sapin de Chartreuse. L'effet subjectif de cet amortissement est très important.

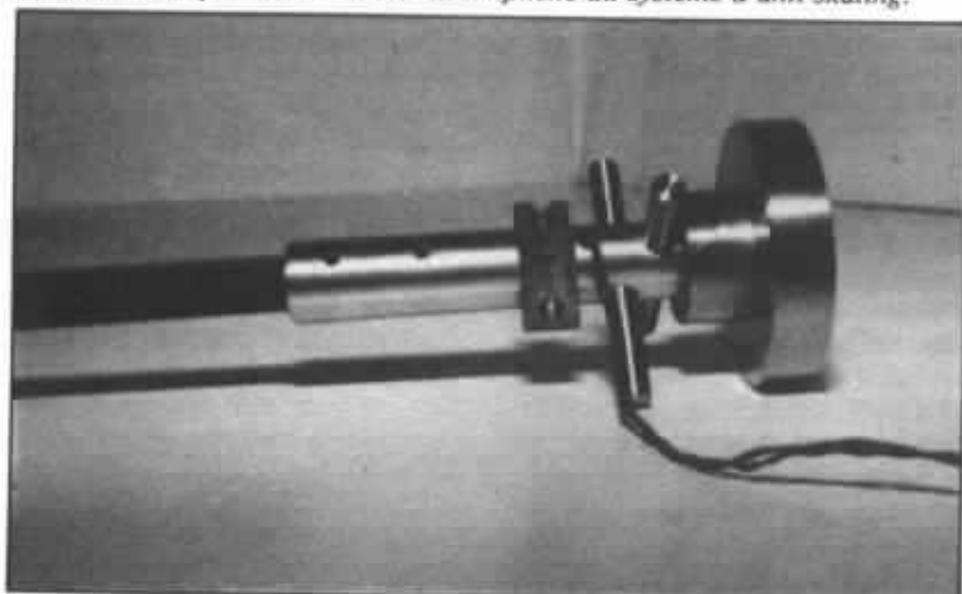
La mise au point d'un double système de pivotement sans jeu et pratiquement sans frottement, a demandé beaucoup de recherches et de mises au point.



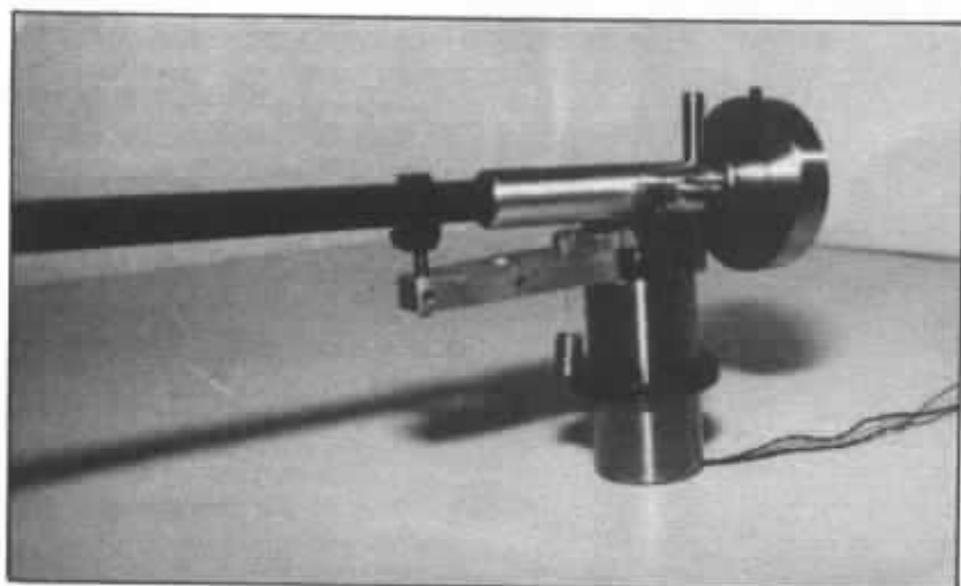
La table de lecture en ordre de marche. Les opérations de montage et de démontage sont extrêmement simples.



Le cadre support en laiton dur et les deux pivots en acier. L'étrier supérieur du cadre n'est pas monté. Noter la simplicité du système d'anti-skating.



Le bras proprement dit vu de dessous. Noter les deux cuvettes qui viennent reposer sur les pivots et les deux masses d'équilibrage latéral et vertical.



Le bras posé sur les deux pivots, étrier de fermeture du cadre non monté.

Dans le plan horizontal, un cadre-support tourne sur deux roulements à billes de haute précision. Le montage permet un rattrapage exact du jeu. Ce cadre porte deux pointes-pivots identiques, symétriques par rapport à l'axe, sur lesquelles repose le bras proprement dit. Ces deux pointes définissent donc l'axe de rotation dans le plan vertical. Le bras repose sur les deux pivots par l'intermédiaire de deux cuvettes de bronze dur. Pointes-pivots et cuvettes ont fait l'objet d'études particulières, d'optimisation de formes et de sélection rigoureuse avant montage. Ce type d'articulation réduit les frottements à un minimum difficile à surpasser.

Le système de réglage de la position du centre de gravité est constitué de deux masses d'équilibrage cylindriques en acier inoxydable. Ces deux masses couissent l'une dans le plan vertical, l'autre dans le plan horizontal. Ce système présente l'avantage d'être très compact et ne comporte aucune pièce en porte à faux, comme dans d'autres réalisations de haute qualité.

Le contrepoids coulisse sur une bague décollée du reste du bras par un élastomère viscoélastique. La bague est maintenue en place par compression de cet élastomère sans aucun contact «dur» avec le bras. Sa compression est réglable.

Le porte-cellule est démontable et orientable autour de l'axe du bras pour optimiser la position de la cellule dans un plan vertical. Par contre, les fils de connexions sont directement reliés à la cellule sans contacts démontables intermédiaires superflus. Ce montage rend la mise en place d'une cellule un peu plus longue, mais la suppression d'un contact dans une chaîne de reproduction de haute qualité est toujours une opération bénéfique.

Le matériau du porte-cellule a

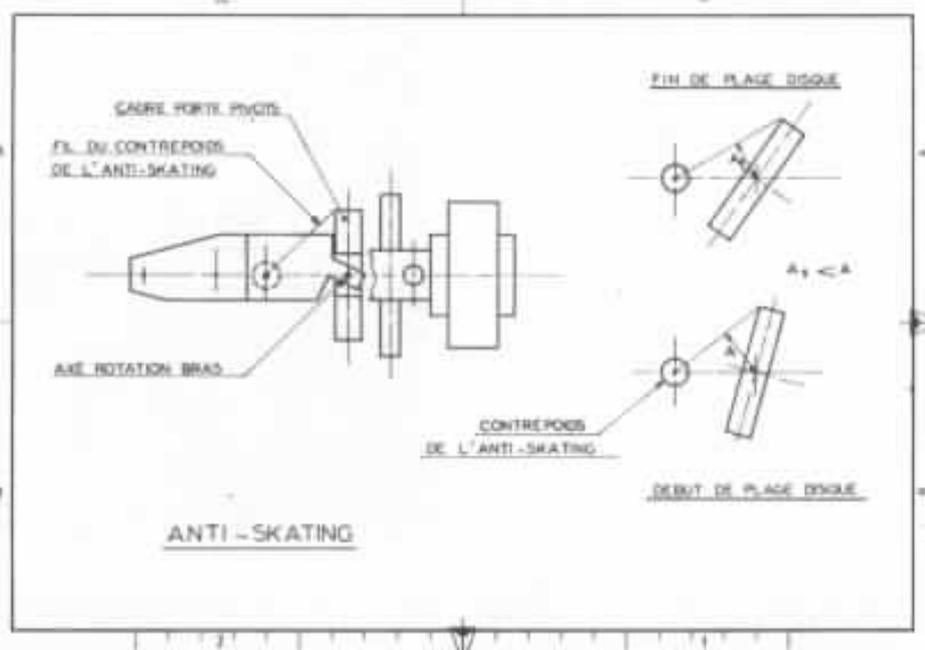


Fig. 5 : Principe de l'anti-skating. La force de rappel est proportionnelle à l'écart angulaire du bras par modification du bras de levier (A et A_1). Noter la simplicité et la structure compacte du système.

fait l'objet d'essais divers. Plusieurs matériaux ont été testés, permalli, alliages légers, structures mixtes... Des résultats différents ont été notés. Le bras est actuellement équipé d'un porte-cellule en alliage léger taillé dans la masse. La partie où est fixée la cellule a trois millimètres d'épaisseur, ce porte-cellule est donc massif et rigide.

Le système retenu pour compenser la poussée latérale ou antiskating, est simple, compact et efficace. Le fil de rappel est directement fixé au cadre et coulisse en renvoi dans la plaque où est fixé le repose-bras. Le contre-poids se déplace donc à la verticale sous le repose-bras. La figure 5 met en évidence la progressivité de son action.

3. Les résultats d'essais

Les essais et mises au point de cette table de lecture ont été faits sur le système d'écoute mis en œuvre par P. Larosa. Ce système est constitué d'une petite ONKEN avec le haut-parleur ALTEC 414 8E pour le registre grave, du haut-parleur de médium Lowter PM-6 et du

tweeter Fostex T 925. La chaîne électronique de ce système multi-amplifié comprend : un pré-préamplificateur Hiraga, un préamplificateur SUNSEY Minimum, un filtre Kanéda à trois voies et des amplificateurs classe A Hiraga. J'ai pu participer à plusieurs séances d'écoute de la table de lecture et du bras sur ce système.

J'ai, d'autre part, pu tester le bras de lecture sur mon propre système, en le montant sur ma table de lecture. Je rappelle que j'utilise une platine lourde, dérivée du modèle minimum étudié par P. Lurné, et que cette table a été décrite précédemment dans cette revue. Le bras a donc été testé sur deux systèmes très différents dans des conditions d'écoutes totalement différentes elles aussi.

Une première constatation est l'absence totale des bruits résiduels habituels des tables de lecture. La table de lecture 3 E est particulièrement silencieuse. Quelques tests simples mettent en évidence cette qualité.

Par exemple, plateau principal enlevé et faux plateau entraîné, la tête de lecture est posée sur le

triangle support par l'intermédiaire d'une cale : volume au maximum, aucun bruit résiduel caractéristique n'est audible. Il en est de même si la tête de lecture est posée sur un plateau de disque non gravé, volume au maximum, aucun bruit résiduel n'est mis en évidence. La vitesse de rotation de la table est très régulière et très stable dans le temps. J'ai pu noter une différence de qualité de restitution entre les deux plateaux qui ont successivement été retenus. Le nouveau plateau, constitué d'un sandwich de plexiglass et d'alliage léger, donne un message musical plus dynamique et qui paraît plus étendu dans le haut du spectre. Ces différences sont infimes mais perceptibles.

Globalement, le message musical transmis par cette table de lecture équipée d'une cellule DENON 103 est très dynamique et très précis. Le bras de lecture est remarquablement adapté à cette cellule. Cet ensemble lit avec beaucoup d'aisance les messages les plus difficiles et donne une image très stable et très détaillée. Le bras a une qualité remarquable, caractéristique d'un matériel très performant, c'est l'influence très sensible des différents réglages : hauteur, position du centre de gravité, force d'appui.

J'avoue que ce bras, monté sur ma table de lecture, transforme mon système d'écoute. Plusieurs disques, considérés comme usés ou illisibles, « passent » maintenant avec aisance ou voient reculer leurs seuils d'« illisibilité ». Le message transmis dans le bas du spectre est à la fois très étendu et très ferme ; le haut du spectre va aussi très loin. J'ai noté des différences sensibles entre les prototypes de porte-cellules étudiés par « 3E ». A ce niveau de qualité, le choix devient plus une question de goût personnel de l'auditeur que l'application de critères techniques...

Je ferai tout de même une critique d'ordre pratique à la table «3E» et plus précisément au bras de lecture. Le réglage de la force d'appui est fait en déplaçant le contrepoids. Ce réglage demande une certaine habitude parce qu'il faut très peu déplacer cette masse pour obtenir un dixième de gramme de variation au niveau de la force. Un réglage «fin» serait très utile et rendrait cette mise au point plus rapide.

4. En conclusion

Mon principal reproche à la table de lecture «3E» est de nous être présentée dix ou quinze ans trop tard. Que de temps aurais-je gagné si j'avais pu disposer de ce bras de lecture plus tôt ! Mieux vaut tard que jamais, dit-on...

L'apparition de ce bras de lecture a donc mis fin à toutes les études et essais que j'avais entrepris pour améliorer la qualité de mon système de lecture. Ce bras est très supérieur à ce que j'aurais pu obtenir. Comparé à un ancien bras SME que j'ai pu essayer chez moi dans les mêmes conditions, avec les mêmes cellules, je trouve le bras «3E» supérieur. Il va aussi loin dans le bas du spectre mais son grave est plus ferme et plus précis. Il permet de guider la cellule DENON 103 dans de meilleures conditions qui améliorent ses possibili-

tés de lecture des gravures difficiles. J'ai l'impression aussi que le bras «3E» donne plus de dynamique, mais la qualité de mon système d'écoute me paraît insuffisante pour pouvoir l'affirmer.

Je souhaite très vivement qu'un accueil favorable des audiophiles perfectionnistes engage la société «3E» à diffuser cette table de lecture et ce bras, qui répondent à un très réel besoin.

M. Pascal Larosa.



Système d'écoute ayant guidé la mise au point. Il est constitué d'un filtre actif FA1 circuit Kanéda, de trois amplificateurs 20 W Hiraga, les enceintes utilisent la Petite Onken équipée du 414-8 E dans le grave, le Lowther PM 6 et le Fostex T 925 complètent la restitution dans le médium-aigu.

Le filtre idéal !

2^e partie

Francis Brooke

Nous avons vu dans une première partie (Audiophile n° 34) l'intérêt de considérer le problème du filtrage de façon plus générale. Nous allons donc, dans un premier temps, récapituler les différentes structures proposées :

- les filtres de Butterworth, d'ordre impair, ou filtres à résistance constante ;*
- les filtres passe-tout, étudiés par P. Garde, d'ordre pair ;*
- les filtres complémentaires ou filtres à tension constante, décrits par R.H. Small ; ils peuvent être symétriques (ordre 2) ou asymétriques (ordre 1-2 et 2-3).*

Les avantages de ces structures sont résumés dans la figure 1.

Nous constatons qu'à chaque structure correspond un intérêt spécifique et un seul ; notre « filtre idéal » devant posséder, a priori, à la fois toutes ces qualités n'existe donc pas.

Sachant cela, il reste à montrer qu'il existe peut-être un paramètre essentiel qui déterminera le meilleur compromis.

| Structure | Ordre | Avantages |
|----------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Butterworth | 3 | Réponse en puissance uniforme |
| Passe-tout | 2 et 4 | Sensibilité moindre au décalage entre les centres acoustiques des transducteurs |
| Complémentaire | 2, 1-2 et 2-3 | Temps de propagation de groupe nul |

Fig. 1 : Avantages des structures usuelles.

Pour ce faire, il est indispensable d'introduire les notions de champ direct et champ réverbéré, exposées par MM. Jouenne et Alcuri dans l'Audiophile n° 33.

En effet, ceux-ci ont montré l'importance fondamentale de quatre facteurs dans la modélisation de la courbe de réponse d'une enceinte acoustique, qui sont :

- la courbe de réponse en chambre sourde ;
- le diagramme de rayonnement propre des haut-parleurs ;
- la forme et la composition de l'enceinte ;
- la pièce d'écoute (taille, absorption).

Ainsi, le haut-parleur est défini par sa réponse en pression L_w et sa directivité Q , tandis que la pièce d'écoute est caractérisée par son facteur d'absorption R calculé en fonction de la surface des parois, du volume de la pièce et de la mesure du temps de réverbération.

Rappelons que l'auditeur situé à une distance r des enceintes percevra un champ intermédiaire entre le champ direct L_{po} (si la pièce était une chambre sourde) et le champ réverbéré L_{pr} (si l'absorption de la pièce était nulle).

La figure 2 extraite d'une documentation JBL, illustre de façon qualitative, l'importance relative des champs direct et réverbéré en fonction de la distance.

Nous avons :

$$L_{po} = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right)$$

$$L_{pr} = L_w + 10 \log \left(\frac{4}{R} \right)$$

Pour simplifier les calculs, nous supposons une réponse uniforme en pression (L_w) des transducteurs prise comme référence à 0 dB ; il peut être alors intéressant d'évaluer l'importance relative de L_{po} et L_{pr} en fonction de la fréquence.

Nous reprenons les données numériques associées au PM6

(directivité Q , fig. 6, p. 80, Audiophile n° 33), à la pièce d'écoute (facteur d'absorption R , fig. 10, p. 82) et à la position de l'auditeur ($r=4$ m). On peut alors calculer, en fonction de la fréquence, les champs direct (L_{po}) et réverbéré (L_{pr}) (fig. 3).

La conclusion essentielle qu'on peut tirer de ce graphe est que, jusqu'à 8 kHz environ, le champ réverbéré est prépondérant ; il est donc impératif, jusqu'à cette fréquence, d'utiliser la courbe de réponse en puissance. Ce sera notre critère principal.

Au-delà, plusieurs phénomènes entraînent une prépondérance du champ direct, ce sont :

- l'augmentation de la directivité des transducteurs ;
- la diminution du temps de réverbération de la pièce d'écoute (celle-ci devenant plus absorbante).

On peut alors très naturellement introduire la notion de fréquence critique F_c définie par :

$$L_{po}(f_c) = L_{pr}(f_c)$$

Dans le cas présent, cette fréquence correspondant à l'égalité

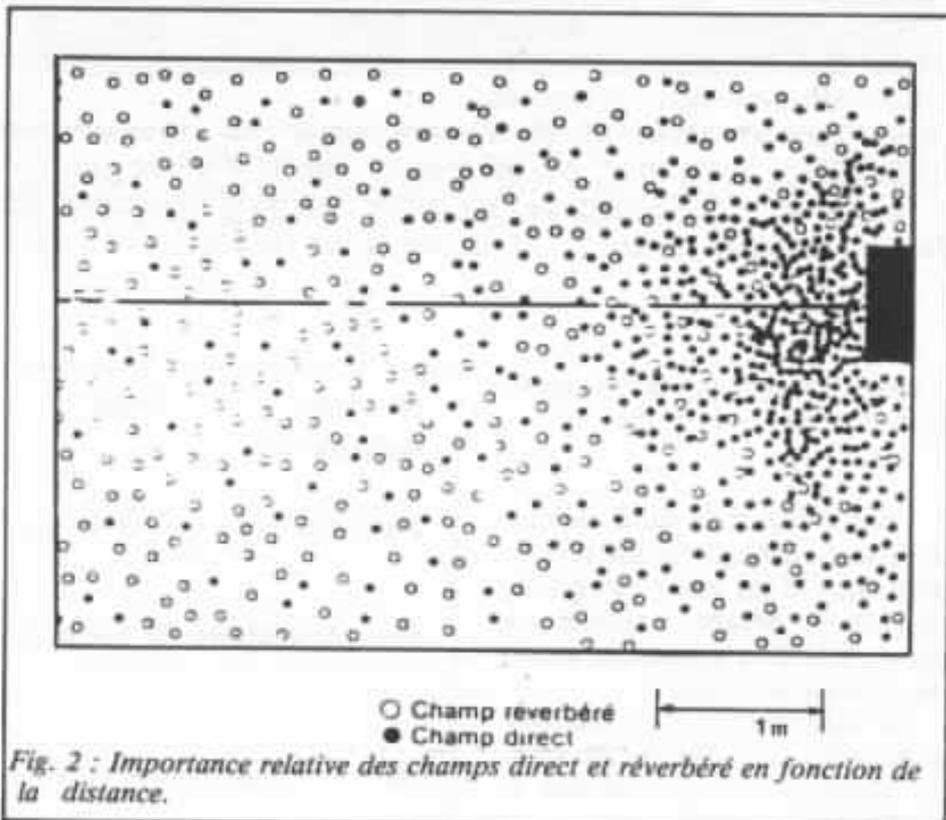
des champs direct et réverbéré pour l'auditeur, est de l'ordre de 10 kHz.

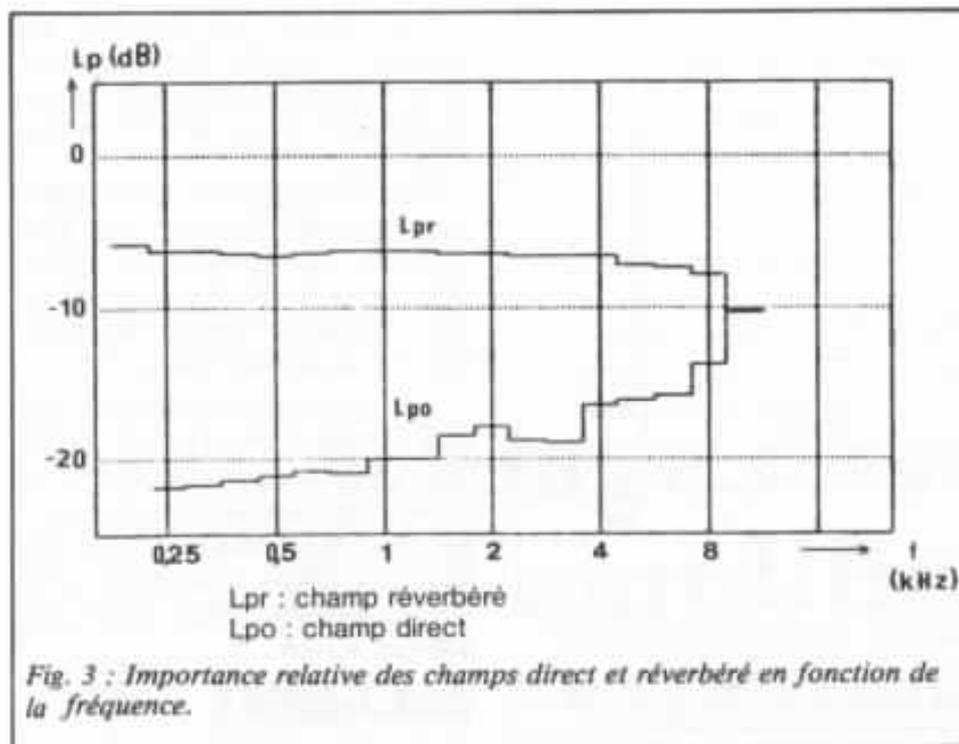
Le choix du filtre optimal va donc dépendre de sa fréquence de coupure ; au-dessous de 8 kHz le meilleur choix, parmi les filtres usuels, pour sa réponse en puissance uniforme est le filtre de Butterworth d'ordre 3 (fig. 4).

Au-dessus de 10 kHz, on peut accorder une plus grande importance à la forme du diagramme de rayonnement, ce qui peut faire préférer les filtres passe-tout d'ordre 2 ou 4.

Ces conclusions valent, bien sûr, pour le haut-parleur choisi dans la pièce considérée. Mais cet exemple nous paraît significatif et il semble raisonnable de généraliser ces résultats pour d'autres transducteurs dans d'autres pièces de volume et absorption équivalents.

Toutefois, on peut légitimement, ne pas être entièrement satisfait du comportement déplorable en régime transitoire des filtres de Butterworth et passe-tout (Audiophile n° 34).





| | |
|----------------|--------|
| Complémentaire | |
| ordre 2 : | + 3 dB |
| Butterworth | |
| ordre 3 : | 0 dB |
| Passe-tout | |
| ordre 2 ou 4 : | - 3 dB |

Fig. 4 : Réponse en puissance à la fréquence de coupure de trois types de filtres ayant une courbe de réponse en pression linéaire.

En effet, nous savons que ceux-ci introduisent, pour la section passe-bas, un retard qui peut entraîner :

- une courbe de réponse subjective ascendante, malgré une courbe de réponse en puissance linéaire ;
- un manque d'homogénéité.

Pour obtenir notre « filtre idéal » qui doit posséder une réponse en puissance linéaire et un temps de propagation de groupe constant, nous essaierons de linéariser la phase du filtre de Butterworth.

Modification du filtre de Butterworth

Prenons comme point de départ le filtre de Butterworth d'ordre 3, avec passe-bas et

passe-haut, en opposition de phase, caractérisé par une réponse en puissance uniforme et une variation régulière du temps de propagation de groupe en fonction de la fréquence.

Nous désirons apporter un retard pour le passe-haut (PH) afin de compenser celui introduit par le filtre pour le passe-bas (PB).

Pour obtenir ce déphasage, on peut proposer deux méthodes :

- soit décaler le PH par rapport au PB ;

— soit utiliser une ligne de retard en série avec le PH.

Du point de vue théorique, ces deux configurations sont équivalentes ; un décalage d'une longueur l produit un retard $t = \frac{l}{c}$ (c : vitesse du son).

Une ligne de retard peut être réalisée en actif grâce à un circuit intégré spécialisé (ex. : SAD 1024) ou bien par une mise en série de plusieurs filtres passe-tout ; on retrouve cette dernière disposition en version passive dans certaines enceintes élaborées (la figure 5 montre à titre d'exemple le schéma du filtre de l'Elipson 7002).

On peut alors calculer le temps de propagation de groupe pour l'ensemble PB + (PH + ligne de retard) en fonction de la fréquence et du retard ajouté de la forme $t = \frac{K}{\omega_c}$ (fig. 6).

On remarque immédiatement que, quel que soit le retard introduit, il est impossible d'obtenir un temps de propagation de groupe identique à toutes les fréquences. Malgré tout, pour $K=2$, celui-ci est le même pour

les fréquences basses ($\frac{\omega}{\omega_c} < .5$) et élevées ($\frac{\omega}{\omega_c} > 3.5$), ce retard

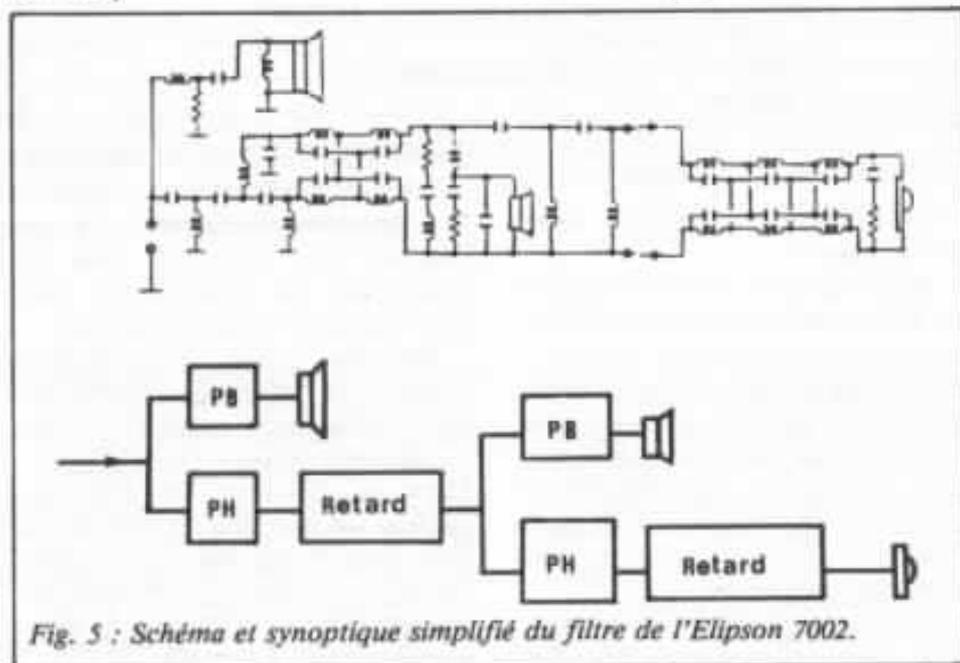
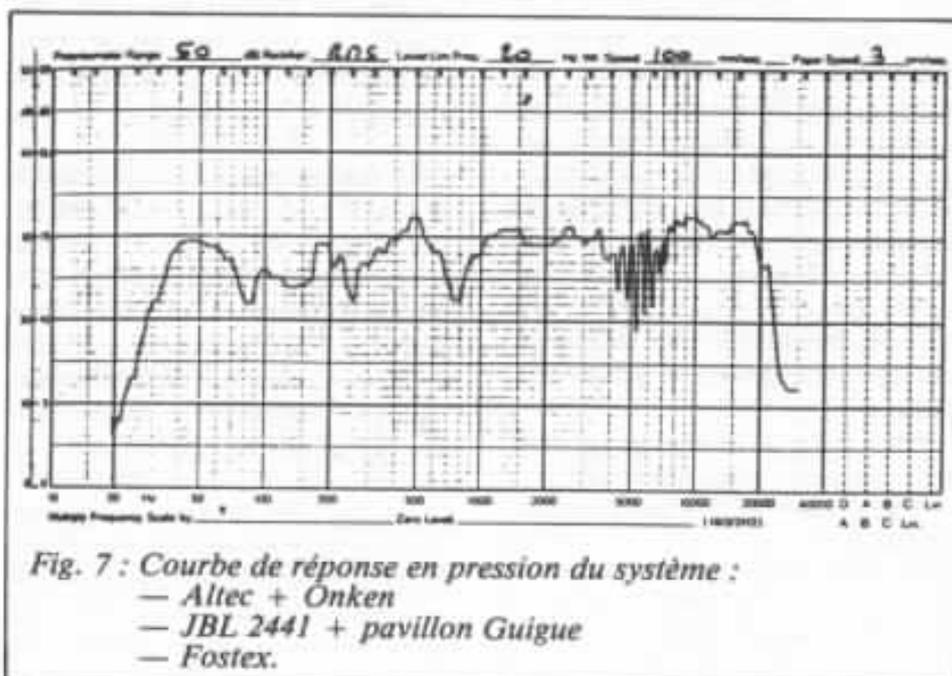
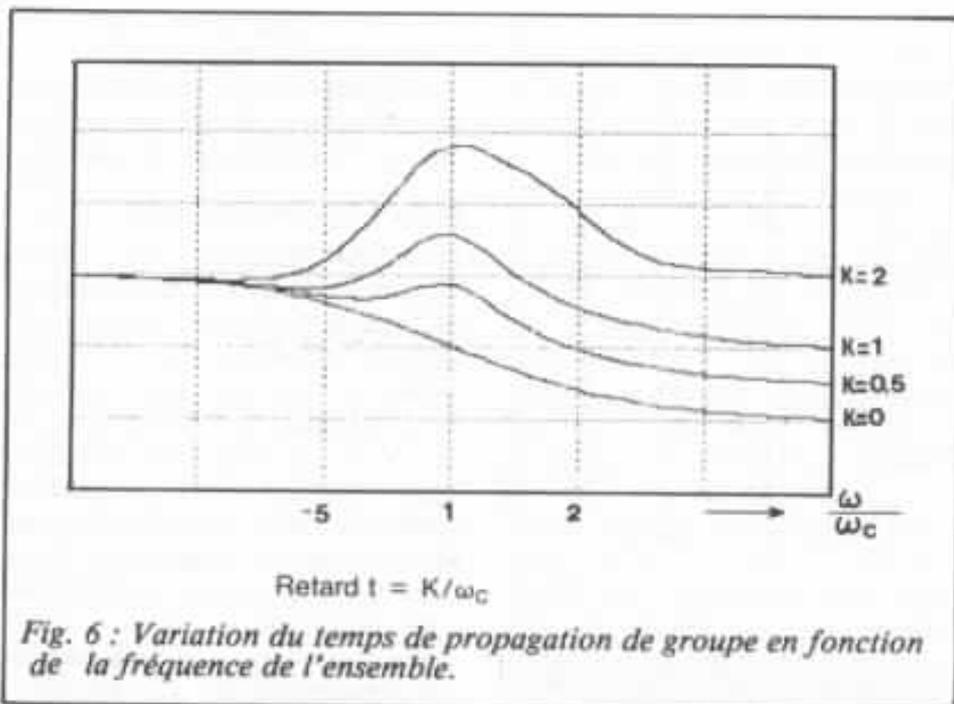


Fig. 5 : Schéma et synoptique simplifié du filtre de l'Elipson 7002.



correspond à un décalage $l = \frac{\lambda_c}{\pi}$

Ces résultats entraînent deux remarques :

1. Pour un filtre usuel d'ordre 2 ou 3 il paraît complètement illusoire de décaler les haut-parleurs afin d'aligner les centres acoustiques pour espérer respecter une hypothétique mise en phase car, dans ce cas, le filtre lui-même introduit un décalage temporel (fonction de la fréquence) qui n'est pas compensé.

2. Concernant l'utilisation abusive, lorsqu'elle est exclusive, des

courbes de réponse en chambre sourde et après avoir rencontré des courbes linéaires qui ne l'étaient plus dans une salle de séjour (fig. 4), nous allons voir que l'inverse existe également.

Prenons le cas de l'enceinte 3 voies de référence constituée par : Altec dans caisson Onken + pavillon Iwata + Fostex T925. Dans ce montage, le plan du moteur du pavillon se situe à un bon petit 57 cm derrière le plan formé par l'Altec et le Fostex, ce qui est énorme (dix fois la longueur d'onde à 6 kHz).

La courbe de réponse en chambre sourde de l'enceinte ainsi formée (La Nouvelle Revue du Son n° 63, p. 45) est reproduite figure 7.

On remarque en particulier des accidents notables aux fréquences de coupures (500-800 Hz et 5 kHz) dus au décalage spatial du moteur du pavillon et à la position du micro.

Or, ce qui est important c'est que le filtre 3 voies utilisé est du type Butterworth d'ordre 3, donc à réponse en puissance uniforme, ce qui explique que ces défauts soient inexistantes une fois le système placé dans une salle de séjour.

Conclusion

Nous avons montré l'importance de raisonner avec la courbe de réponse en puissance plutôt qu'avec celle en pression, ceci a guidé notre préférence dans le choix du filtre optimal, parmi les filtres usuels, vers celui de Butterworth.

Toutefois, le mauvais comportement en régime transitoire de ce dernier nous a incité à chercher des améliorations possibles de sa réponse en phase mais aucune ne nous a satisfait jusqu'à présent.

Bibliographie

R.H. Small *Journal de l'A.E.S.* vol. 19, p. 12-19 (1971)

P. Garde *Journal de l'A.E.S.* vol. 28, p. 575-584 (1980)

R.M. Bullock *Journal de l'A.E.S.* vol. 30, p. 486-495 (1982)

L'Audiophile n° 33 et 34 - Editions Fréquence.

N.B. - L'auteur tient à remercier vivement M. André pour son aide matérielle.

Les calculs ont été effectués sur Apple II ou Grapp, U.A. n° 328 du C.N.R.S., Nancy.

L'étage d'entrée de l'amplificateur

3^e partie : expérimentation de différentiels insolites

Héphaïstos

Voici la seconde partie de la série d'expérimentations objectives que nous avons entreprise sur les différents étages d'entrée susceptibles d'être utilisés dans notre amplificateur de puissance expérimental. Après avoir essayé d'examiner de la manière la plus exhaustive possible les performances du très classique différentiel à deux transistors, nous nous tournons maintenant vers des montages différentiels plus rares, plus insolites, plus élaborés, plus complexes, plus onéreux et peut-être meilleurs.

Meilleurs pour la mesure, sûrement ! puisque la mesure nous a, ici, servi à étudier et à améliorer, le cas échéant, ces circuits peu communs. Meilleurs pour nos oreilles, c'est moins sûr ; pour cela, il faut d'abord que notre métrologie nous permette de bien cerner tous les phénomènes qui comptent réellement en électroacoustique (nous avons fait plus que beaucoup d'autres pour tenter d'y parvenir) et ensuite il faut que ces améliorations ne se situent pas au-delà de la sensibilité de nos oreilles : ce sera la suite de notre étude.

Nous avons vu lors des exposés théoriques qui jalonnent cette étude d'un amplificateur de puissance à transistors que nous voulons le meilleur possible, que celui-ci présentait deux points faibles : l'étage de sortie qui pose des problèmes de puissances et de tensions importantes que

beaucoup simplifient en utilisant des circuits aux non-linéarités pernicieuses ; celles-ci, non seulement interviennent à bas niveau, mais y sont plus actives qu'à fort niveau. Les chiffres donnés par les mesures traditionnelles ne permettent pas alors de soupçonner les horreurs que nos

oreilles perçoivent à l'écoute de ces circuits. L'étude de l'étage de sortie (premier volet de cette longue étude) nous a conduit à des solutions ayant des distorsions faibles et douces malgré un rendement raisonnable.

L'étage d'entrée, second point faible, recèle d'autres pièges :

l'usage de la contre-réaction globale (nous avons déjà insisté sur ses limitations tant statiques que dynamiques) nous conduit à être d'une exigence extrême sur les qualités que nous lui avons trouvées nécessaires : bonne linéarité, bande passante élevée, pas de distorsion en transitoire d'origine thermique ou autre (voir nos considérations théoriques dans *L'Audiophile* n° 36). Nous avons donc voulu mesurer ces caractéristiques sur les circuits que nous pouvions envisager de retenir comme étage d'entrée. Dans *L'Audiophile* n° 39, nous vous avons présenté les résultats des mesures que nous avons faites sur la référence que représente le circuit différentiel à deux transistors.

Dans l'exposé d'aujourd'hui, nous commencerons par faire le point sur nos méthodes de mesure : nous utiliserons l'expérience acquise lors de notre première série de mesures et nous précisons les conditions de mesure des nouveaux circuits en fonction de leurs particularités. Ensuite, nous verrons un certain nombre de solutions originales aux problèmes du circuit d'entrée. Pour chacune, nous regarderons en détail son fonctionnement (il n'est pas toujours évident), nous exposerons les éventuelles variations ou modifications auxquelles nos mesures nous ont parfois conduits et nous exposerons les résultats de nos mesures. Enfin, nous ferons la synthèse de nos mesures, de celles-ci et des précédentes pour préparer la suite de l'étude de l'étage d'entrée.

Nos mesures

Elles ont été décrites dans le n° 39 de *L'Audiophile*. Nos réflexions d'aujourd'hui se réfèrent à ce premier exposé.

- Les conditions de mesure

Les précautions que nous avons prises de définir et de

respecter nous ont donné satisfaction. Pour les signaux d'entrée et leur génération, il n'y a rien à dire. Pour la charge du circuit différentiel et la tension de polarisation, nous avons vu que l'accroissement de la valeur de la résistance de charge et de la tension d'alimentation se traduisait par une amélioration des mesures de distorsion classique et par des risques de distorsion thermique plus importants. Or, les circuits que nous allons voir sont souvent assez complexes et cela peut se traduire par des tensions de saturation supérieures à celles du simple différentiel, c'est pourquoi nous avons retenu pour ces nouvelles expérimentations une tension de 30 V ; la valeur de la résistance de charge étant, elle, choisie en fonction du circuit testé. Cette valeur plus importante que celle retenue pour nos précédentes expérimentations (15 V) présente deux avantages : elle permet de pousser plus loin les performances de distorsion classique et de mieux déceler des tendances à la distorsion thermique, donc de bien connaître les limites des circuits testés.

- Mesure de la fonction de transfert

Cette mesure qui permet de mieux appréhender de façon globale les problèmes de linéarité (évolution de la distorsion en fonction du niveau, saturation plus ou moins abrupte, instabilité discrète) prend ici tout son intérêt : nous verrons plus loin quelques fonctions de transfert plus riches en informations sur le fonctionnement des circuits que les courbes de nos premières expérimentations.

- Mesure du gain

Rien à signaler.

- Mesure de la distorsion totale harmonique

Pour cette mesure, il n'y a rien à dire au niveau du principe. Toutefois, il faut signaler que les

performances obtenues au moyen des circuits testés ici, nous ont posé quelques problèmes : les limites de mesure se situant à des niveaux de sortie déjà assez élevés. Heureusement, l'identification de l'harmonique qui sombre dans le bruit sur la sortie «Monitor» du distorsiomètre permet d'extrapoler les performances de distorsion à bas niveau. Si on fait l'hypothèse que la distorsion mise en évidence par cette mesure correspond à une non-linéarité de type statique (hypothèse plus que vraisemblable dans tous les cas, et qui peut être vérifiée facilement en examinant, quand la fréquence varie, le comportement de la distorsion à un niveau où elle est encore mesurable) sans rupture de pente brusque (celles-ci ne peuvent se produire que si on sort de la classe A, ou si des instabilités sournoises interviennent), on peut montrer en utilisant la décomposition de Taylor des fonctions continuellement dérivables que l'harmonique 3 correspond à un point d'une courbe localement impaire et décroît comme le cube du niveau ; le taux de distorsion correspondant décroît donc comme le carré du niveau. La prédominance d'harmonique 2 est associée au cas général ou à une fonction paire et le taux d'harmonique décroît alors proportionnellement au niveau.

L'utilisation d'un analyseur de spectre sur la sortie «Monitor» aurait permis une sensibilité de mesure plus satisfaisante (comme nous l'avons déjà fait lors de nos mesures sur les résistances), mais nous n'avons pas pu disposer de ce type d'appareil pour nos mesures. Nous avons également dû renoncer aux mesures que nous nous proposons de faire avec des résistances sélectionnées par les audiophiles, pour la même raison. Mais nous espérons pouvoir emprunter un tel appareil pour la mise au point des circuits que nous testerons de

façon subjective, nous aurons donc l'occasion de reparler de cette mesure.

- Mesure de distorsion thermique

Rien à signaler.

- Mesure de bande passante

Rien à signaler.

- Mesure de phase

Ce contrôle fait au moyen d'un signal carré permet en outre de détecter d'éventuelles limitations de slew-rate plus probables avec les circuits testés ici qu'avec les différentiels simples de nos mesures précédentes.

- Mesure de bruit

Ces mesures nous ont causé de gros problèmes : déjà pour nos premières mesures, nous avons été perturbés par une radio locale ; depuis la situation s'est encore dégradée (augmentation de la puissance de l'émetteur ou modification des conditions de propagation liées à la chute des feuilles dans le voisinage ?) et nous avons renoncé aux mesures de bruit en courant faites avec une impédance de source élevée. Toutefois, nous mentionnerons les résultats de la mesure globale du bruit sur basse impédance. En utilisant des blindages, il aurait été possible de vaincre cette difficulté, mais comme le bruit n'est pas vraiment un problème essentiel pour l'amplificateur de puissance, le jeu n'en valait pas la chandelle. Nous ferons le point sur le problème de bruit lors des essais subjectifs.

- Mesure de l'impédance d'entrée

Ici aussi, notre principe de mesure nous rend vulnérable aux signaux parasites mais les mesures sont encore possibles.

Résultats de mesure

Avant de passer aux résultats de nos mesures sur ces circuits différentiels peu courants, je voudrais bien préciser les conditions de nos investigations : il ne

pouvait être question de faire des mesures extrêmement complètes sur chacune des solutions présentées ici. Vouloir être aussi exhaustif que pour le circuit différentiel aurait été très long et aurait conduit à un compte rendu volumineux. Un tel investissement ne nous était guère possible et ne se justifiait pas avant les expérimentations subjectives. Nous nous sommes plus attachés à définir des tendances et à cerner les points importants pour les performances, mais la suite de cet exposé permettra de mieux comprendre notre démarche.

Le «cascomp»

Dans «La distorsion dans l'amplificateur de puissance» (*L'Audiophile* n° 28), nous avons signalé ce circuit très original conçu par Tektronix Inc. pour être utilisé dans ses oscilloscope, comme une des rares applications récentes du principe de la correction avale (Feedforward en anglais). La figure n° 1 nous rappelle le schéma de principe de la correction avale : un système mesure en sortie d'un amplificateur, au moyen d'un pont diviseur, les écarts entre le signal de

sortie et le signal d'entrée ; cet écart est ensuite amplifié et additionné au signal de sortie de l'amplificateur pour le corriger.

Ici le principe n'est pas utilisé à la lettre, mais néanmoins bien appliqué : les erreurs du premier amplificateur ne sont pas mesurées par comparaison entre les signaux d'entrée et de sortie mais reproduits. Le premier amplificateur (cf. figure n° 2) est constitué de T_1 et T_2 qui forment un étage différentiel contre-réactionné classique. La tension d'entrée se retrouve aux bornes de R_E aux inégalités entre les V_{BE} près, et ce sont les valeurs différentes des tensions base-émetteur qui sont la cause des erreurs d'amplification : la valeur linéaire de l'impédance d'émetteur de chaque transistor est une cause d'erreur sur le gain puisque le signal d'entrée est divisé entre elles et R_E (cf. figure n° 3), et la partie non-linéaire de ces impédances se traduit par une distorsion du signal d'entrée. Les oscillogrammes de la figure n° 4 correspondent au cas d'un signal sinusoïdal appliqué sur une des deux entrées, et permettent de bien comprendre le fonctionnement du montage. Pour retrou-

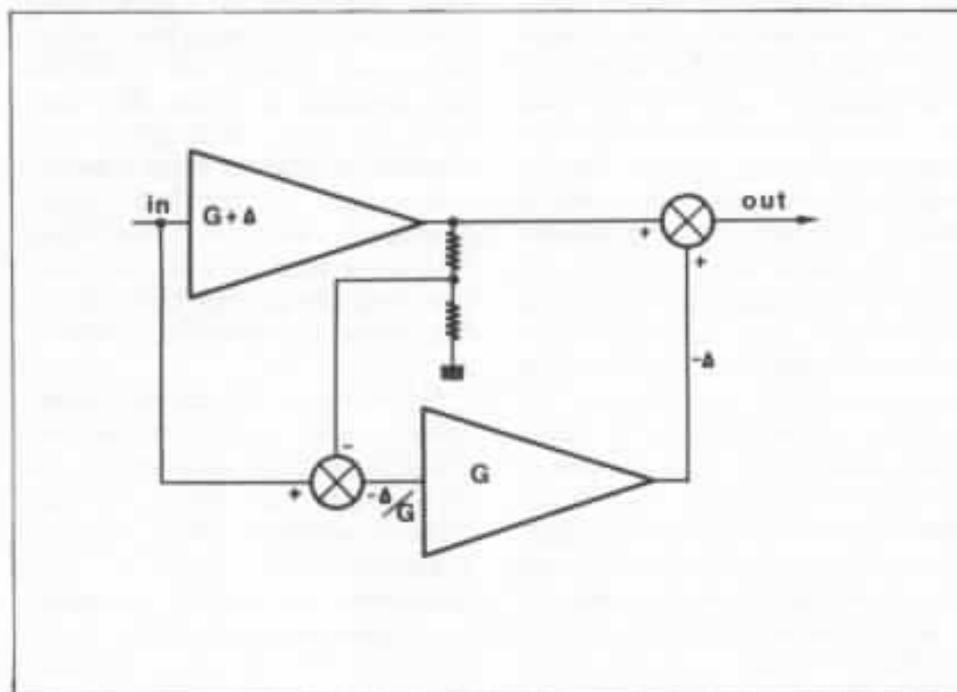


Fig. 1 : Schéma de principe de la correction avale.

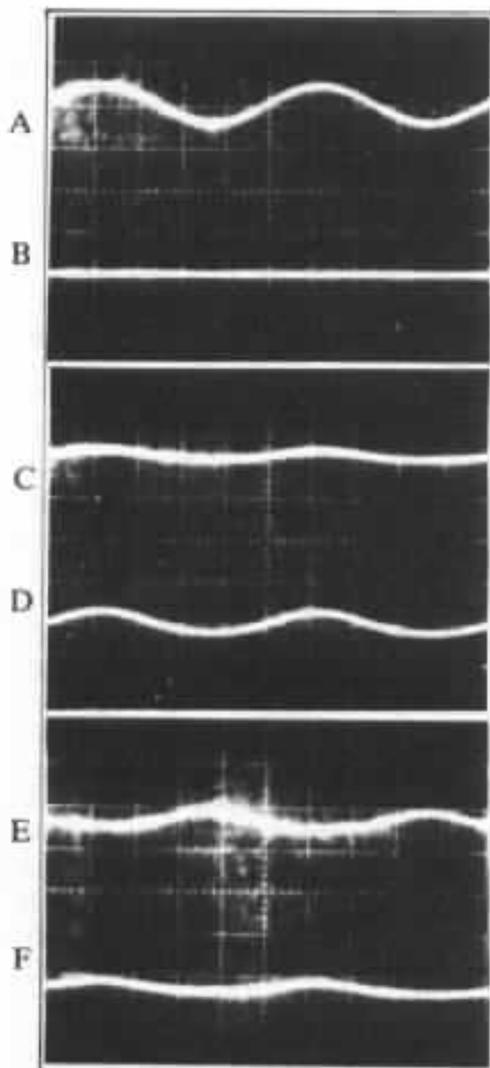


Fig. 4 : Oscillogrammes du fonctionnement du « cascomp ».

ver ces erreurs on utilise deux autres transistors : si les transistors T_1 et T_2 sont identiques et si on néglige les courants de base, on peut dire que leurs tensions base-émetteur sont égales puisqu'ils sont parcourus par le même courant ; on peut raisonner de même pour T_2 et T_4 et comme le potentiel de base est le même pour T_3 et T_4 , on retrouve entre leurs émetteurs une tension correspondant aux erreurs du premier amplificateur. Il suffit alors d'amplifier cette tension et d'ajouter le courant correspondant au courant du premier différentiel pour corriger les erreurs de gain et de linéarité de celui-ci.

Quelles sont les limites d'un tel montage ? Elles sont de deux natures ; tout d'abord les tensions base-émetteur ne sont pas

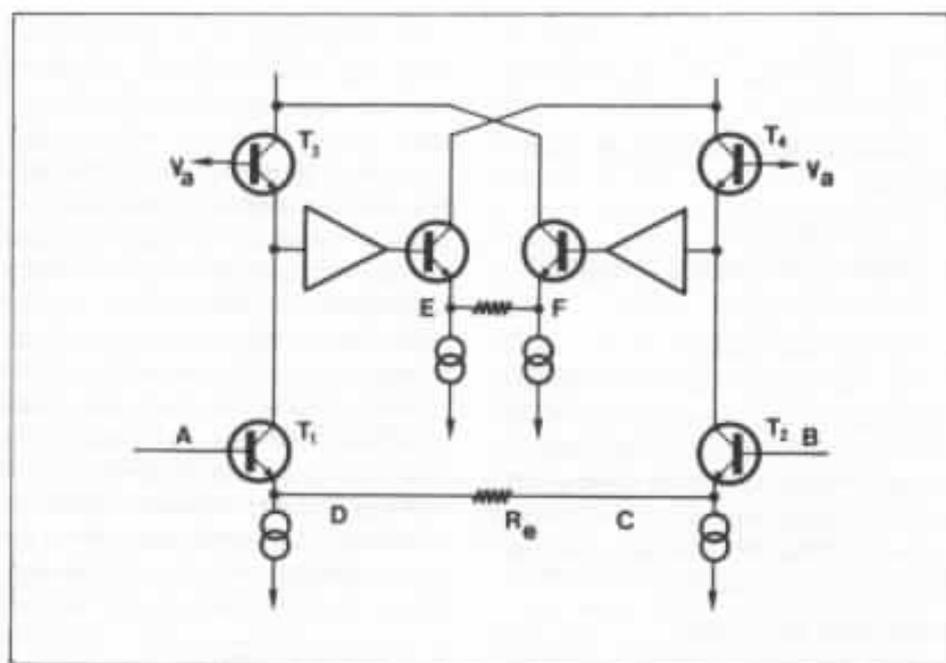


Fig. 2 : Schéma de principe du « cascomp ».

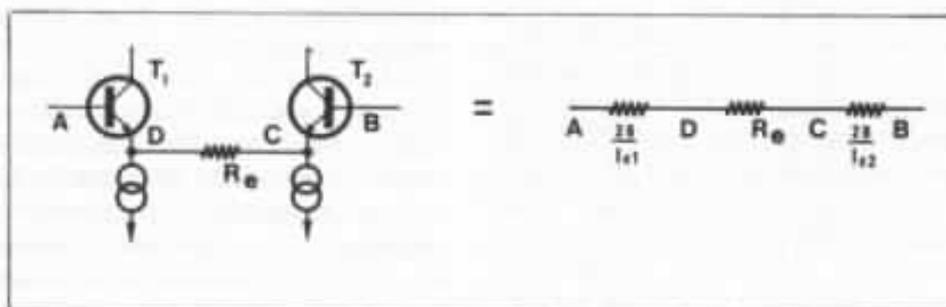


Fig. 3 : Atténuation du signal d'entrée aux bornes de R_e .

aussi identiques qu'il serait souhaitable (transistors non-identiques, erreur sur l'identité des courants à cause des courants de base, effet Early qui modifie la relation entre courant collecteur et tension base-émetteur), ensuite l'amplification de la tension d'erreur trouvée n'est pas parfait et introduit des erreurs (au deuxième ordre il est vrai).

Pour limiter ces effets indésirables, nous avons retenu un schéma définitif très voisin de celui utilisé par Tektronix car celui-ci présente de nombreux avantages (voir figure n° 5) ; analysons les points auxquels une attention particulière a été apportée : T_1 , T_2 , T_3 et T_4 sont des transistors grand gain appariés deux par deux ; les résistan-

ces dans les bases de T_3 et de T_4 sont égales aux impédances vues par celles de T_1 et T_2 ; la sortie se fait via des transistors montés en base commune pour limiter l'effet Early sur T_3 et T_4 ; les tensions de polarisation U_1 et U_2 ont été choisies assez faibles pour limiter les différences liées à l'effet Early ; les amplificateurs d'erreur utilisent le principe de la contre-réaction pour être plus linéaires et bien maîtriser leurs gains.

Pour nos premiers essais, nous avons retenu comme valeur pour I_0 et I_1 respectivement 1,5 mA et 1 mA. Cela correspond à un courant maximal dans les résistances de charge de 5 mA ; étant donné la tension d'alimentation de 30 V, cela nous conduit à des résistances de charge de 4,7 k Ω .

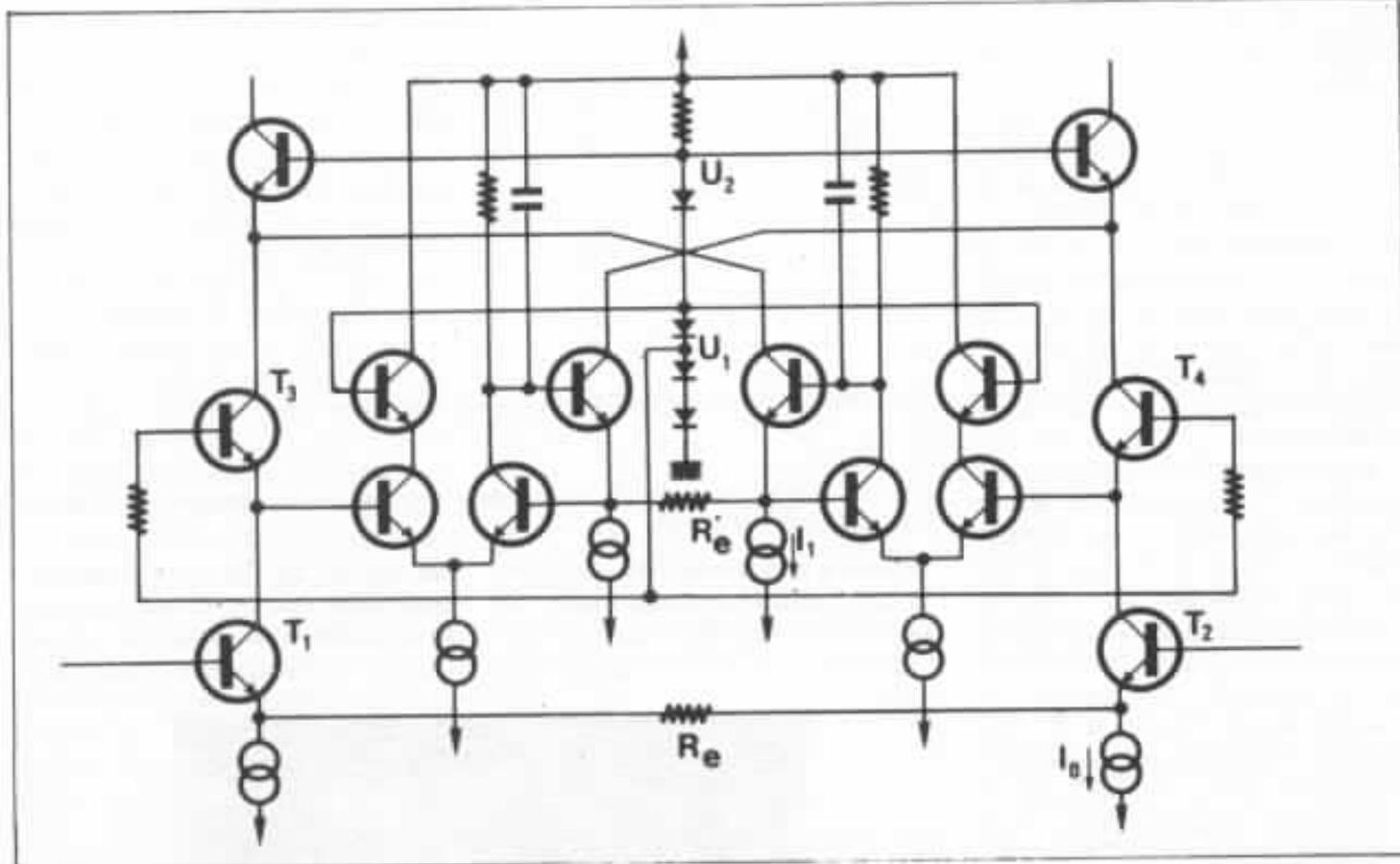


Fig. 5 : Schéma définitif du circuit « cascomp » utilisé. Par rapport au schéma de Tektronix, peu de différences : essentiellement au niveau de l'amplificateur d'erreur : utilisation de cascodes pour éviter la distorsion thermique et utilisation d'un condensateur pour bien maîtriser la coupure (45 kHz).

Comme nous voulons un gain voisin de 100 (c'est une valeur probable pour le gain du premier étage de notre amplificateur, selon nos premières analyses ; mais nous reviendrons sur ce point un autre fois), cela conduit à une valeur de 24Ω pour R_E et R'_E .

Nos mesures ont alors porté sur la distorsion en fonction du niveau. Comme point de repère, nous avons tracé la courbe de distorsion (courbe A de la figure n° 6) du montage sans la correction avale ; nous avons obtenu une courbe semblable à celle de nos premières mesures sur le différentiel simple. La distorsion à bas niveau est composée d'harmonique 2 qui correspond à un léger offset (des expérimentations faites sur le montage différentiel simple en superposant une composante continue variable au signal d'entrée pour simuler les effets de l'offset, et non

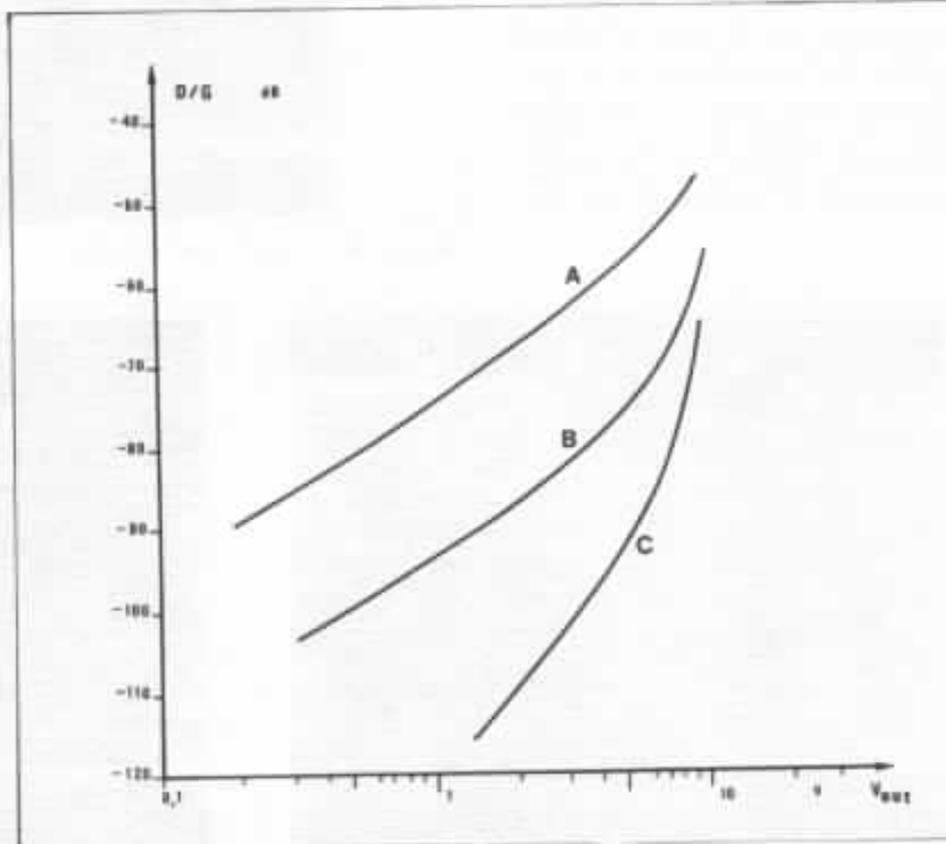


Fig. 6 : Premières courbes de distorsion du circuit « cascomp » (1 kHz).

rapportées dans notre premier exposé, nous ont montré que l'offset jouait sur la nature de la distorsion à bas niveau — harmonique 2 ou harmonique 3 — et sur l'allure du bas de la courbe de distorsion. La courbe de distorsion (courbe B de la figure n° 6) obtenue avec la correction avale montre un progrès dans les performances de distorsion de l'ordre de 20 dB, et la persistance de la distorsion paire à bas niveau.

Ensuite, nos investigations ont porté sur l'importance de l'identité entre R_E et R'_E : en faisant varier la valeur de R'_E autour de sa valeur théorique et en mesurant la distorsion pour un signal de sortie de 3 V eff., nous avons eu la surprise de trouver la courbe de la figure n° 7 qui montre clairement que la valeur théorique ne correspond pas à l'optimum expérimental. Cet optimum (environ 40,9 Ω) signifie que le comportement réel s'écarte de la théorie ; il est plus élevé et conduit à un gain plus conforme à la théorie (40 dB contre 41,6 dB précédemment) ; augmenter R'_E revient à réduire le gain de l'amplificateur de correction, cela signifie que dans notre réalisation initiale, l'élaboration du signal d'erreur se faisait avec trop de gain, ce qui con-

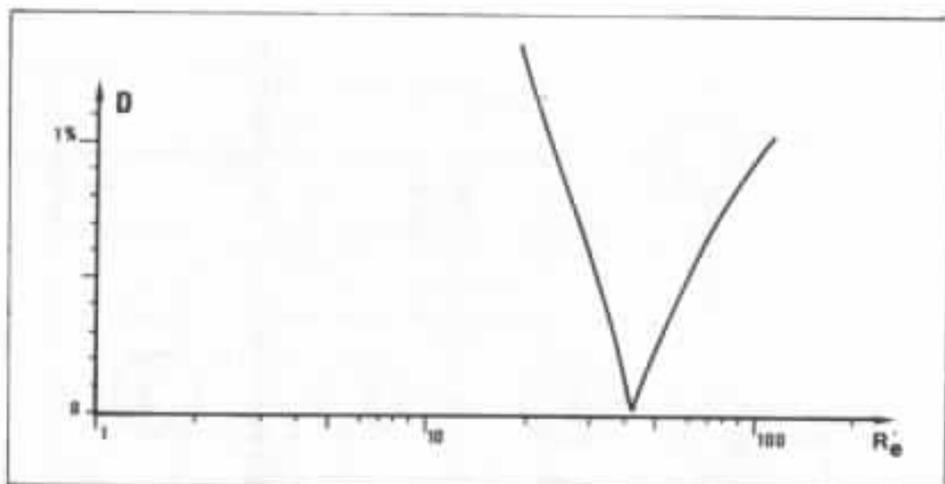


Fig. 7 : Variation de la distorsion de « cascomp » en fonction du gain de l'amplificateur d'erreur.

duisait à une correction excessive et une linéarité non-optimum ; la cause vraisemblable de ce phénomène est la non-similitude entre

les transistors. La courbe de distorsion (courbe C de la figure n° 6) associée à la nouvelle valeur de R'_E est éloquent : la distor-

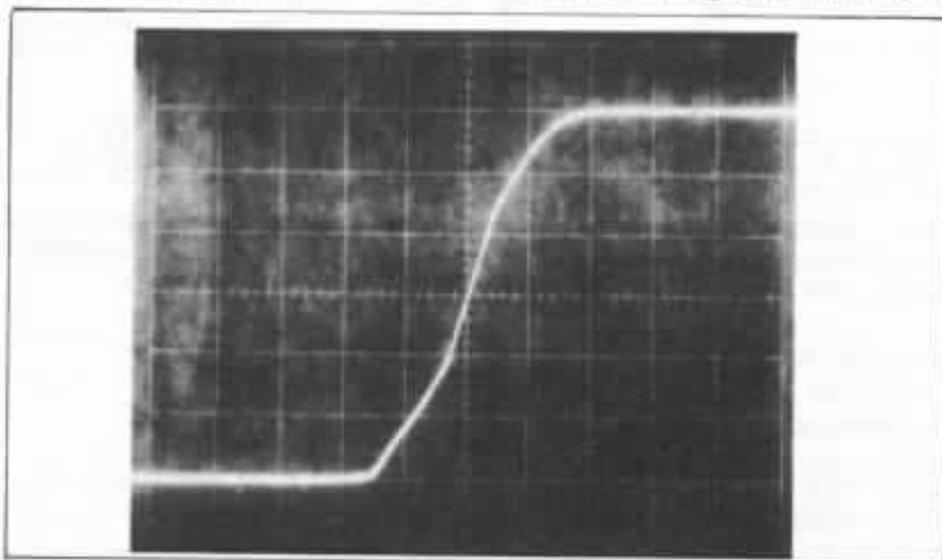


Fig. 8a : $I_0 = 2$ mA, $I_1 = 0,5$ mA.

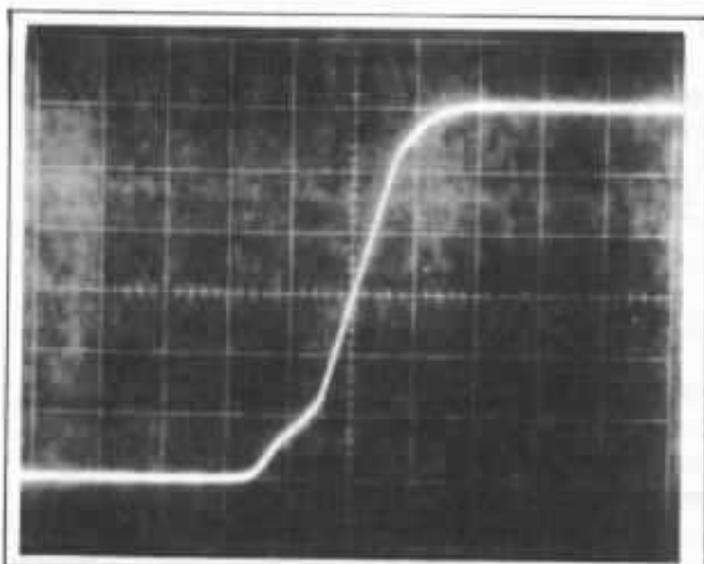


Fig. 8b : $I_0 = 1,5$ mA, $I_1 = 1$ mA.

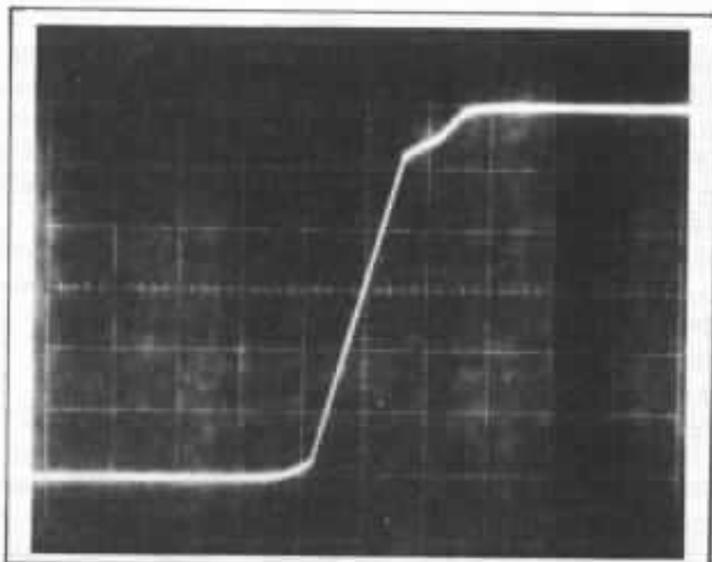


Fig. 8c : $I_0 = 1$ mA, $I_1 = 1,5$ mA.

Fig. 8 : Fonction de transfert du « cascomp » pour différentes valeurs des courants de polarisation.

sion est encore réduite, on obtient des valeurs très faibles et la distorsion à bas niveau se compose d'harmonique 3 (cela signifie que le montage présente une fonction de transfert très linéaire et impaire).

Puis, nos investigations ont porté sur la valeur des courants de polarisation de l'amplificateur principal et de l'amplificateur de correction. Nous avons fait des essais avec plusieurs valeurs de I_0 et de I_1 : 2 mA et 0,5 mA, 1,5 mA et 1 mA puis 1 mA et 1,5 mA (pour conserver la même valeur de résistance de charge, il faut que la somme de I_0 et de I_1 soit constante). Les fonctions de transfert (cf. figure n°8) montrent que le rapport entre I_0 et I_1 déterminent la dynamique de fonctionnement correct de la correction aval. C'est donc les deux dernières valeurs que nous avons retenues, puisqu'elles donnent la plus grande dynamique même si, avec un signal de correction supérieur au signal à corriger, on peut sembler être assez loin de la notion initiale de correction aval.

Enfin, nous nous sommes intéressés au choix des transistors (uniquement T_1 , T_2 , T_3 et T_4 qui jouent un rôle important dans le fonctionnement du montage) en essayant deux types de transistors doubles : le 2N2920 qui avait déjà servi aux premières expérimentations du circuit Cascomp et le LM194 qui est un meilleur transistor double (meilleur gain en courant et très bon appariage des transistors). Pour optimiser le fonctionnement dans les deux cas, nous avons fait varier R'_E et obtenu les deux courbes de la figure n° 9. La qualité des transistors joue donc un peu sur les performances, c'est pourquoi pour les mesures définitives, nous avons retenu le meilleur transistor et obtenu les résultats suivants :

- Fonction de transfert

Nous l'avons déjà vue sur la figure n° 8c.

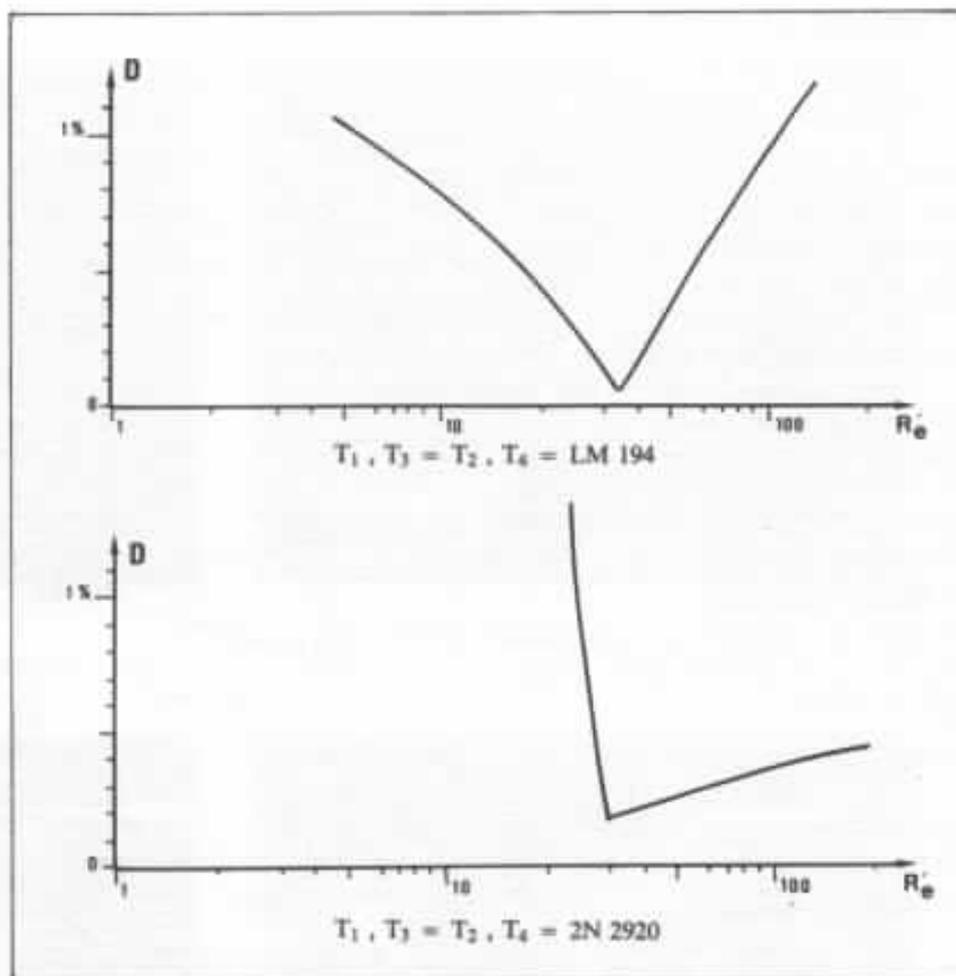


Fig. 9 : Influence du choix des transistors et du gain de l'amplificateur d'erreur sur la distorsion.

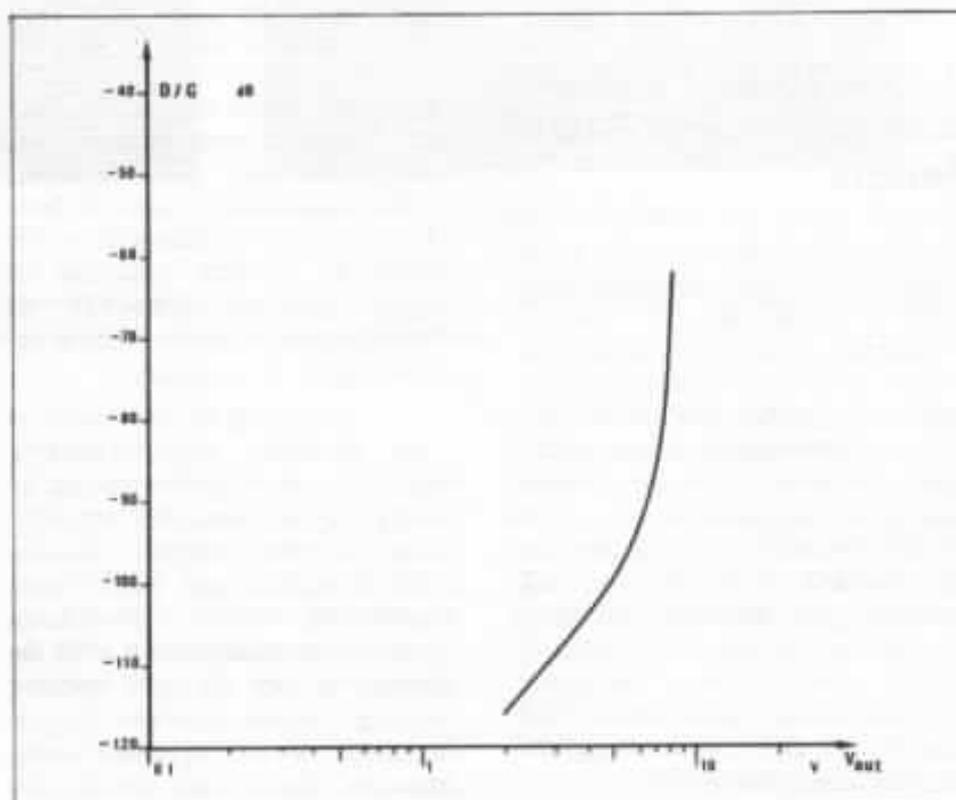


Fig. 10 : Distorsion en fonction du niveau pour le circuit « cascomp » définitif.

- Gain du montage

Nous avons mesuré 42,5 dB.

- Distorsion harmonique

La figure 10 montre l'évolution de la distorsion en fonction du niveau de sortie ; les performances sont impressionnantes. La distorsion est constante en fonction de la fréquence.

- Distorsion thermique

Nous n'avons pas trouvé de distorsion thermique. Ce n'est pas étonnant puisque les transistors susceptibles d'en être victimes travaillent avec des tensions faibles.

- Bande passante

Elle vaut 240 kHz ; cela nous fait donc un produit gain-bande de 32 MHz.

- Mesure de phase

Elle ne révèle rien de particulier : ni accident sur la phase, ni limitation de slew-rate.

- Mesure de bruit

Le bruit total en entrée vaut $2,9 \mu\text{V}$.

- Impédance d'entrée

Celle-ci est importante, supérieure à $100 \text{ k}\Omega$.

Le différentiel à amplificateur opérationnel intégré

Une façon de combattre les erreurs des transistors du montage différentiel classique peut être l'usage de la contre-réaction ; le moyen le plus commode et le plus répandu d'utiliser la contre-réaction, c'est l'utilisation d'amplificateurs opérationnels tout faits en circuits intégrés. Les schémas possibles (voir figure n° 11) sont simples (à réaliser) et en nombre restreint. Les variations possibles concernent le type de l'amplificateur opérationnel et la nature du transistor ; nous avons fait nos essais avec trois amplificateurs et deux transistors.

Le fonctionnement de ce montage est très simple : les ampli-

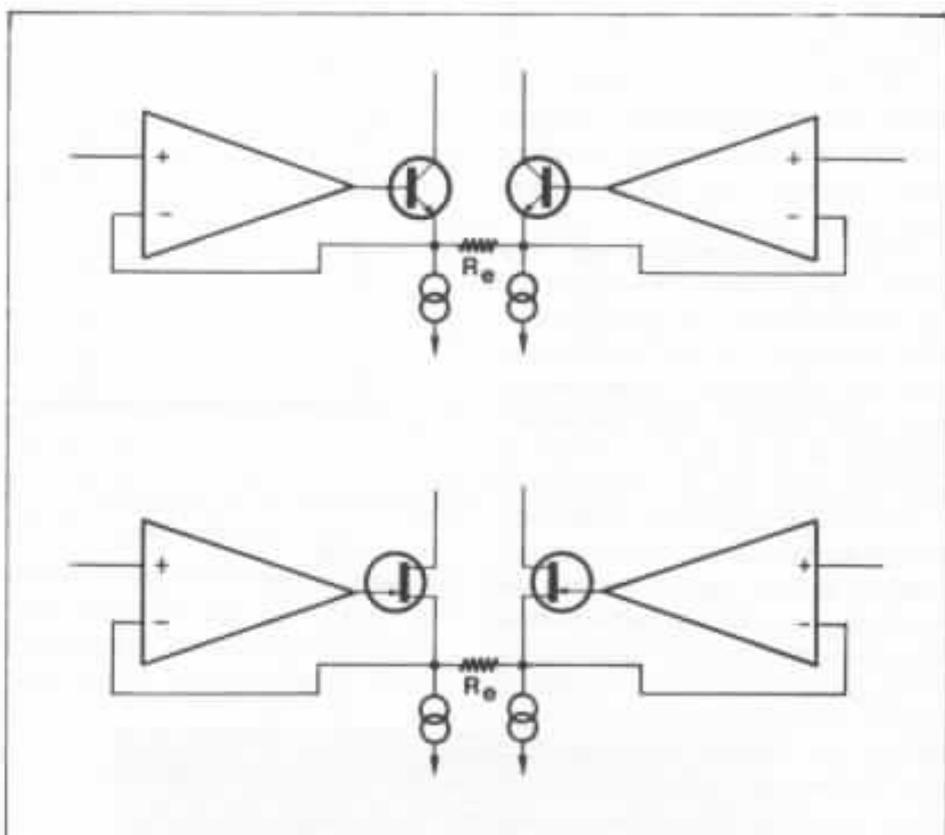


Fig. 11 : Les deux schémas possibles pour le différentiel à amplificateurs opérationnels intégrés.

ificateurs cherchent à reproduire aux bornes de R_E les tensions d'entrée, R_E est donc parcouru par un courant proportionnel au signal d'entrée ; à cause des générateurs de courant, ce courant se retrouve comme variation des courants de sortie. Les causes d'erreurs sont limitées : la distorsion des amplificateurs (réduite par tout le gain de boucle de la contre-réaction) et les fuites de courant (courant de base, courant d'entrée de l'amplificateur, imperfection des générateurs de courant).

Le premier amplificateur essayé est un amplificateur de la dernière génération des amplificateurs d'usage courant ; ils utilisent la technologie BIFET qui permet de marier transistors bipolaires et transistors à effet de champ, et ont de très bonnes caractéristiques d'entrée (impédance et offset) et une bande passante relativement élevée ; les performances de bruit sont très moyennes.

Le second amplificateur essayé est le modèle OP 77 de la firme PMI. C'est une nouvelle version du fameux OP 07 (bonnes caractéristiques d'entrée — impédance, offset et bruit — et bande passante moyenne) que la publicité du constructeur vante pour sa linéarité en boucle ouverte. (Cette publicité présente une méthode de mesure de cette linéarité, dont nous reparlerons lors de nos essais sur notre amplificateur complet.) L'importance de la linéarité en boucle ouverte (sur laquelle nous avons déjà beaucoup insisté) est une idée qui va à contre-courant des principes généralement admis sur la contre-réaction et qui est suffisamment rare pour que nous soyons intéressés par cet amplificateur.

Le troisième amplificateur essayé est le modèle LM833 de la firme NS. C'est un amplificateur spécialement conçu pour les applications audio : faible bruit et faible distorsion, bande pas-

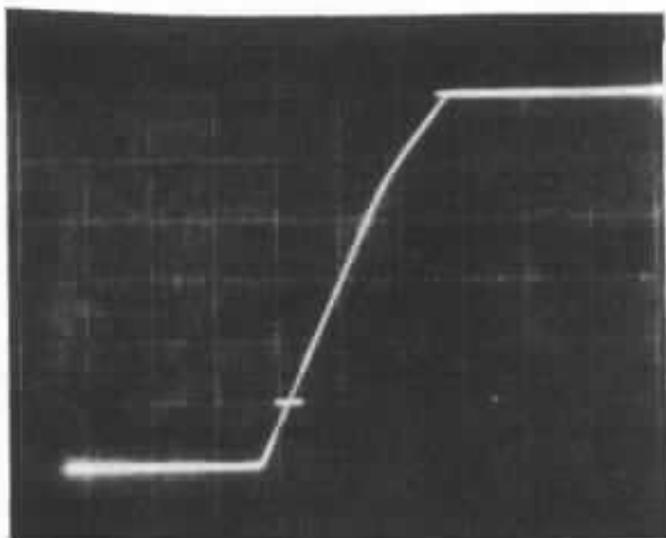


Fig. 12a : Bifet et bipolaire.

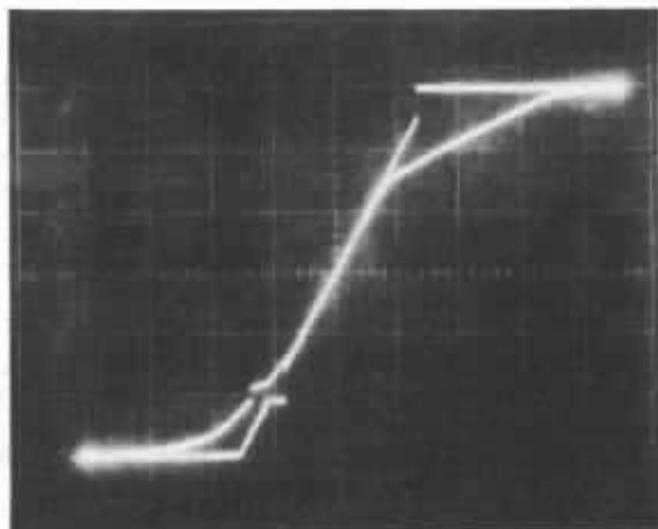


Fig. 12b : OP77 et bipolaire.

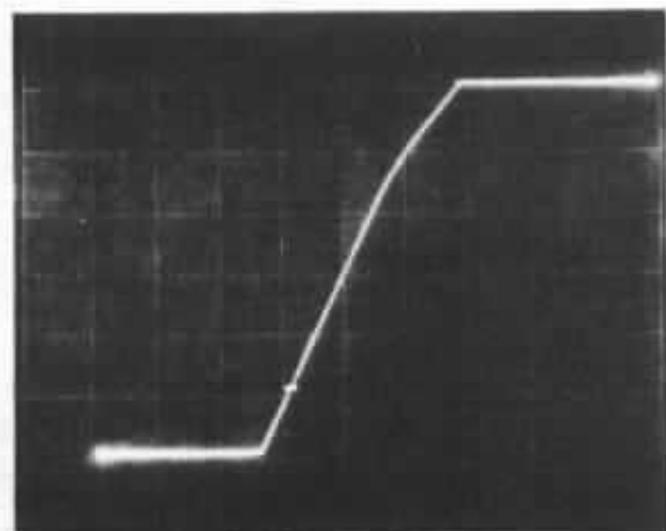


Fig. 12c : LM 833 et bipolaire.

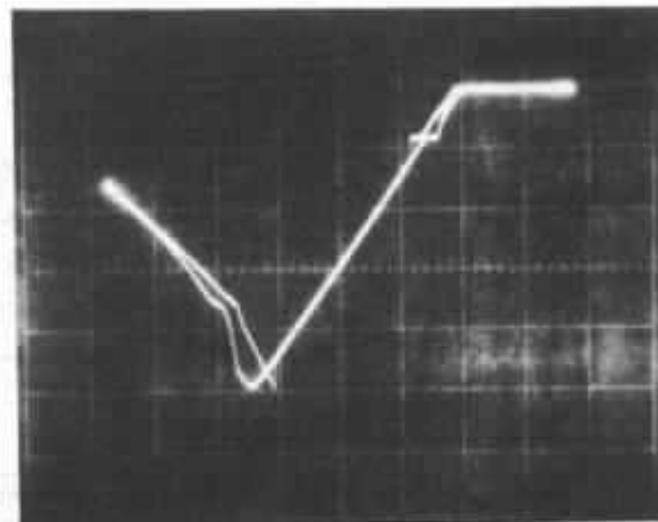


Fig. 12d : OP 77 et effet de champ.

Fig. 12 : Fonctions de transfert des différentiels à amplificateurs opérationnels intégrés. Le OP77 est linéaire sur une plus grande dynamique, mais des accidents de saturation sont plus importants.

sante et slew-rate élevés. Son schéma interne semble très classique : un différentiel PNP non contre-réactionné suivi d'un miroir de courant et d'un étage de sortie assez complexe.

Comme transistor, nous avons utilisé soit un bipolaire du type grand gain et faible bruit, soit un effet de champ du type MosFet. le choix du transistor ne joue que lors des saturations (cf. figure n° 12) et sur la distorsion (cf. figure n° 14).

- Fonction de transfert (figure n° 12)

Elles se caractérisent par une grande linéarité dans la partie médiane et des comportements abominables lors des saturations (et plus particulièrement avec le MosFet : tout le gain de boucle qui ne permet plus à l'amplificateur de remplir sa mission — avoir le même potentiel sur ses deux entrées — se déchaîne dans une fureur aveugle).

- Gain du montage

Comme les performances de distorsion étaient bonnes, nous avons câblé les résistances correspondant à un gain de 46 dB que nous avons ensuite mesuré dans tous les cas (conséquence de la boucle de contre-réaction).

- Distorsion harmonique

Elle est très faible (cf. figure n° 14) et difficile à mesurer ; la distorsion est plus importante avec le MosFet qu'avec le bipo-

| Circuit utilisé | Bifet | OP 77 | LM 833 |
|-----------------|-------|-------|--------|
| B kHz | 710 | 165 | 730 |
| G.B MHz | 142 | 33 | 146 |
| B μ V | 2,0 | 3,8 | 4,6 |

Fig. 13 : Performance de bande passante et de bruit des différentiels à amplificateurs opérationnels intégrés.

Les résultats des mesures correspondant à ce tableau ne dépendent pas de la nature des transistors de sortie. Celle-ci ne semble jouer un rôle que pour les performances de linéarité du montage.

laire : la tension de commande du MosFet (de forme parabolique) que l'amplificateur doit générer, perturbe plus l'amplificateur que le courant de base du bipolaire (l'impédance de sortie de l'amplificateur et le courant de base sont très faibles).

- **Distorsion thermique**

Elle n'est pas décelable.

- **Bande passante**

(cf. figure n° 13)

Elle est élevée.

- **Mesure de phase**

Elle révèle des limites de slew-rate sur les fronts descendants (cf. figure n° 15).

- **Mesure de bruit**

(cf. figure n° 13)

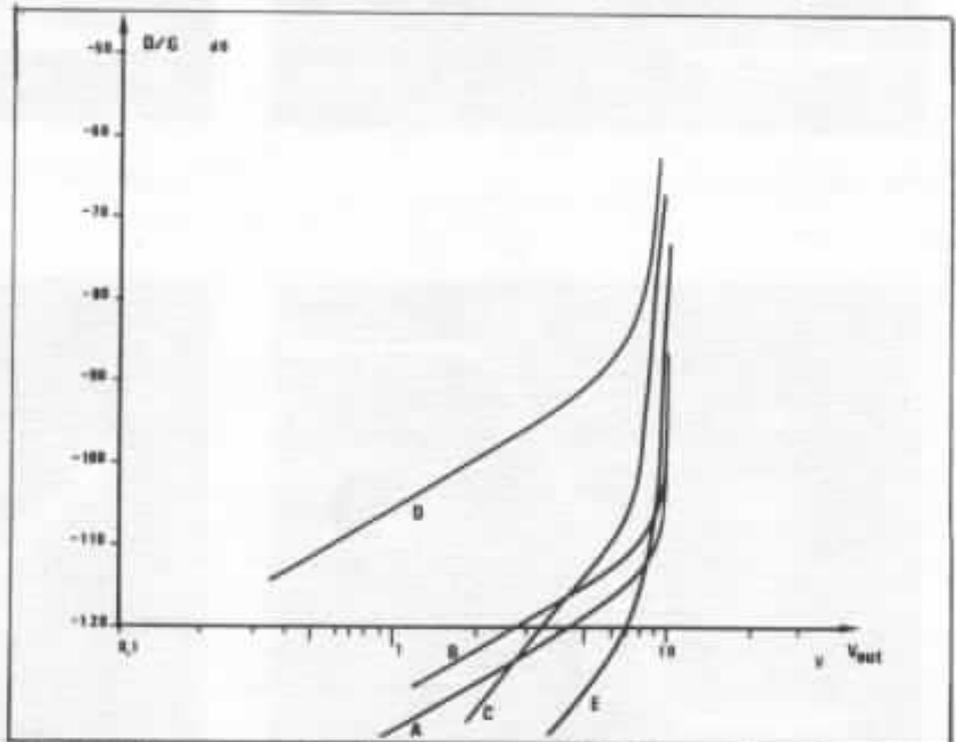


Fig. 14 : Distorsion en fonction du niveau (à 1 kHz) pour les différentiels à ampli op. intégrés : A=Bifet et bipolaire, B=Bifet et effet de champ, C=OP77 et bipolaire, D=OP77 et effet de champ, E=LM833 et bipolaire.

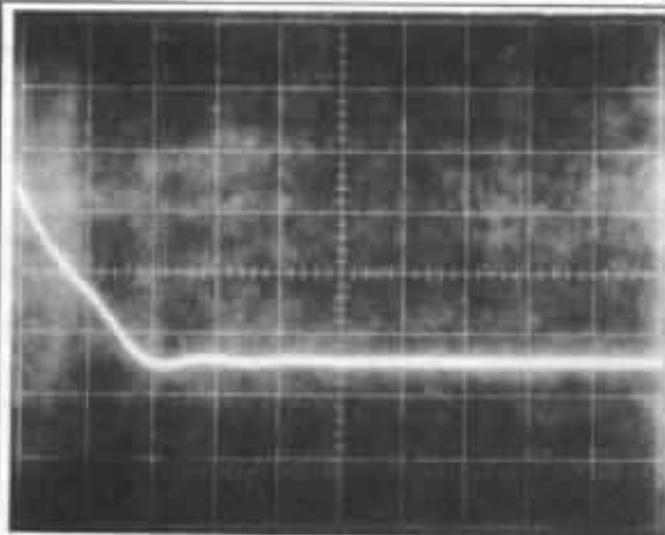


Fig. 15a : Bifet, verticalement 0,5 V/div, horizontalement 10 μ s div.

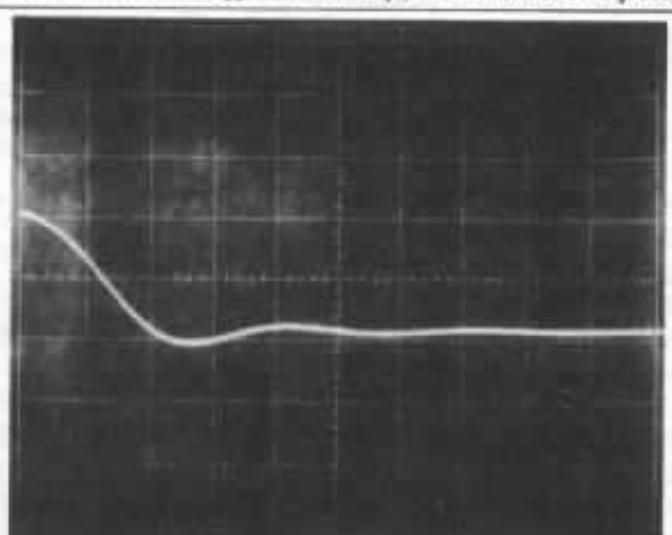


Fig. 15b : LM 833, verticalement 0,5 V/div, horizontalement 50 μ s div.

Fig. 15 : Limitations du slew-rate pour les différentiels à amplificateurs opérationnels intégrés.

- Impédance d'entrée

Elles sont trop élevées pour être mesurées par notre méthode.

Ces mesure particulièrement bonnes sur les montages à base d'amplificateurs opérationnels en circuits intégrés, ont semé le doute dans notre esprit sur la pertinence de nos mesures. Ce n'est pas que nous soyons contaminé par les préjugés anti-progrès qui me navrent chez certains audiophiles, mais parce que nous connaissons les contraintes et les limites de la fabrication de ces produits et que nous savons que leurs concepteurs sont astreints à des compromis et que leurs idées sur la distorsion (quand ils s'en soucient) sont en général classiques. Mais après tout, peut-être que dans les conditions très particulières dans lesquelles nous les avons ici utilisés (faible dynamique d'entrée, très faible dynamique de sortie — courant comme tension), ces circuits peuvent avoir un comportement satisfaisants pour nos besoins.

Le différentiel à amplificateur opérationnel en éléments discrets

A la place des amplificateurs en circuits intégrés les essais précédents, il est possible d'utiliser la même fonction réalisée en éléments discrets ; cette fonction ne peut être que très simple et se limite à un seul étage différentiel suivi d'un montage de sortie translateur de tension et amplificateur de courant (cf. figure n° 16). Nous avons le choix de la nature du différentiel (bipolaire ou fet) et du circuit de sortie (bipolaire simple ou darlington, ou fet). Les schémas de la figure n° 16 montrent les configurations testées. Par rapport aux circuits précédents, nous avons des performances qui résultent d'un gain en boucle ouverte plus faible (distorsion supérieure) et

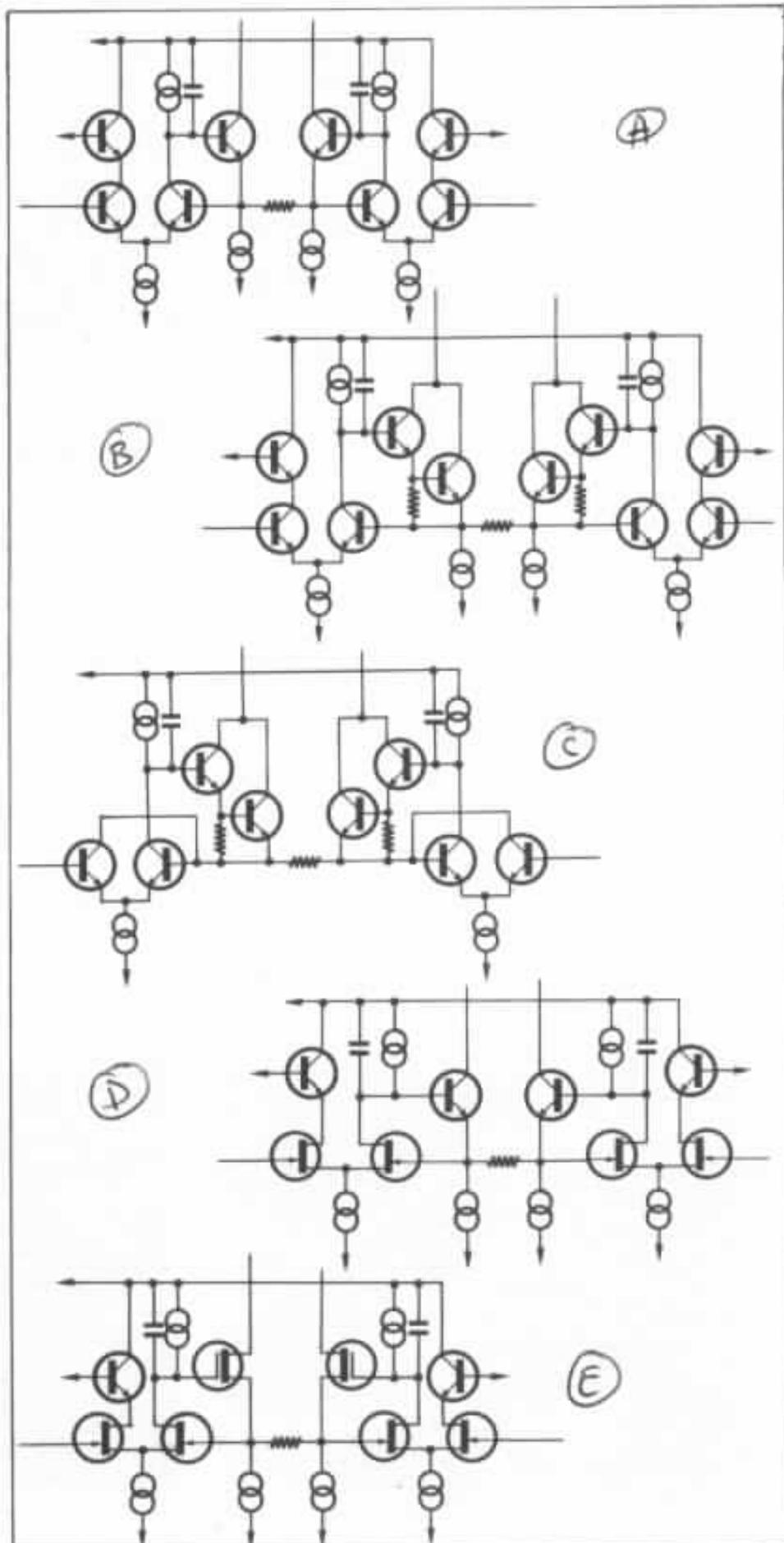


Fig. 16 : Schémas testés : A = différentiel bipolaire et sortie bipolaire, B = différentiel bipolaire et sortie Darlington, C = variation du B (sans intérêt, moins de composants mais dynamique réduite), D = différentiel à effet de champ et sortie bipolaire, E = différentiel à effet de champ et sortie effet de champ.

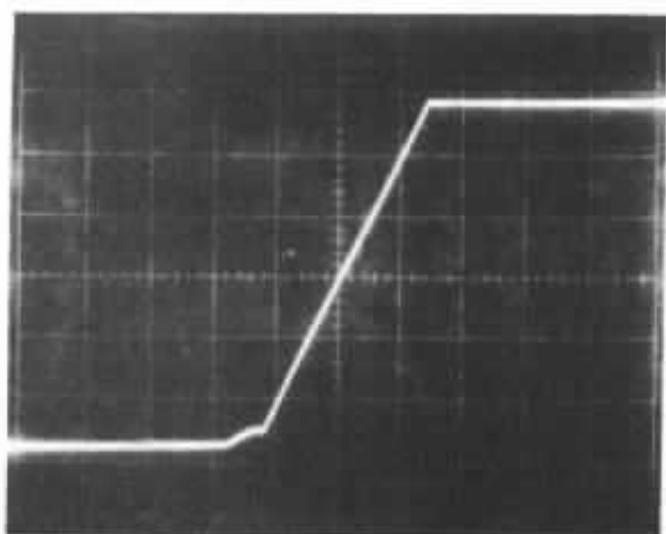


Fig. 17a : Circuit A

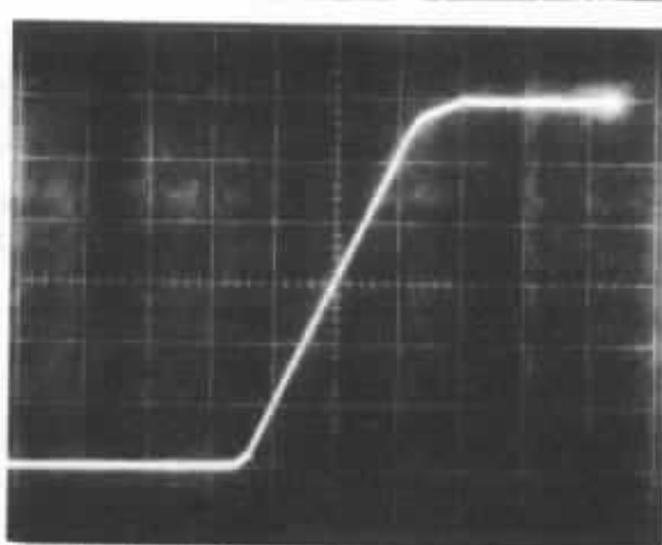


Fig. 17b : Circuit B

Fig. 17 : Fonctions de transfert des différentiels à amplificateurs opérationnels en éléments discrets.

| Circuit | A1 | A2 | B | D | E |
|------------------|------|-----|------|------|------|
| G dB | 40 | 40 | 40 | 39,9 | 39,9 |
| B kHz | 2500 | 850 | 2200 | 2100 | 2200 |
| G.B MHz | 250 | 85 | 220 | 208 | 217 |
| θ μ V | 4,5 | 2,2 | 4,5 | 5,7 | 5,6 |

Fig. 18 : Gain, bande passante et bruit des différentiels à amplificateurs opérationnels en éléments discrets.

d'une structure plus simple (saturation plus saine). Pour la version A, nous avons utilisé soit un 2N2920, soit un LM394.

- Fonction de transfert

(cf. figure n° 17).

- Gain du montage

(cf. figure n° 18)

L'usage de la contre-réaction continue de donner un gain très précis.

- Distorsion harmonique

Celle-ci peut être très faible (cf. figure n° 19) avec un bon bipolaire ; elle est plus importante avec les fet.

- Distorsion thermique

Nous n'en avons pas trouvée.

- Bande passante

Celle-ci peut être très élevée (cf. figure n° 18).

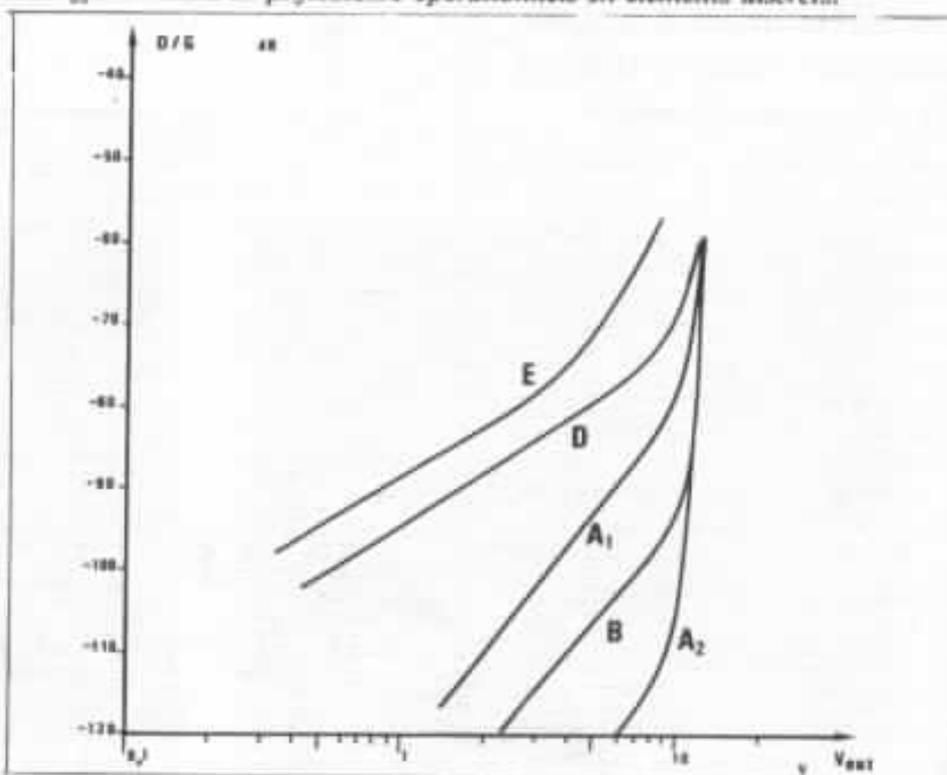


Fig. 19 : Distorsion en fonction du niveau pour le différentiel à ampli op. en éléments discrets. (A₁ = circuit A avec 2N 2920, A₂ = circuit A avec LM 394).

- Mesure de phase

Nous n'avons pas vu la limite du slew-rate.

- Mesure de bruit

(cf. figure n° 18).

- Impédance d'entrée

Elle est élevée ($> 100 \text{ k}\Omega$) dans tous les cas.

Le différentiel à Darlington

Lors de notre étude théorique, nous avons vu qu'une autre manière de réduire les erreurs dues aux transistors du différentiel était d'utiliser un montage Darlington pour accroître le gain en courant et ainsi augmenter la précision par contre-réaction locale. Le montage Darlington usuel ne convient pas parce qu'il ajoute les erreurs d'une jonction supplémentaire, par contre des montages Darlington réalisés au moyen de transistors complémentaires échappent à ce défaut (cf. figure n° 20).

Les avantages d'un tel circuit sont d'obtenir de bonnes performances de distorsion et de bande passante sans composants bien appairés. C'est un grand avantage pour les circuits intermédiaires, quand on a besoin de circuits équivalant à un différentiel PNP (les très bons transistors double PNP existent mais ils

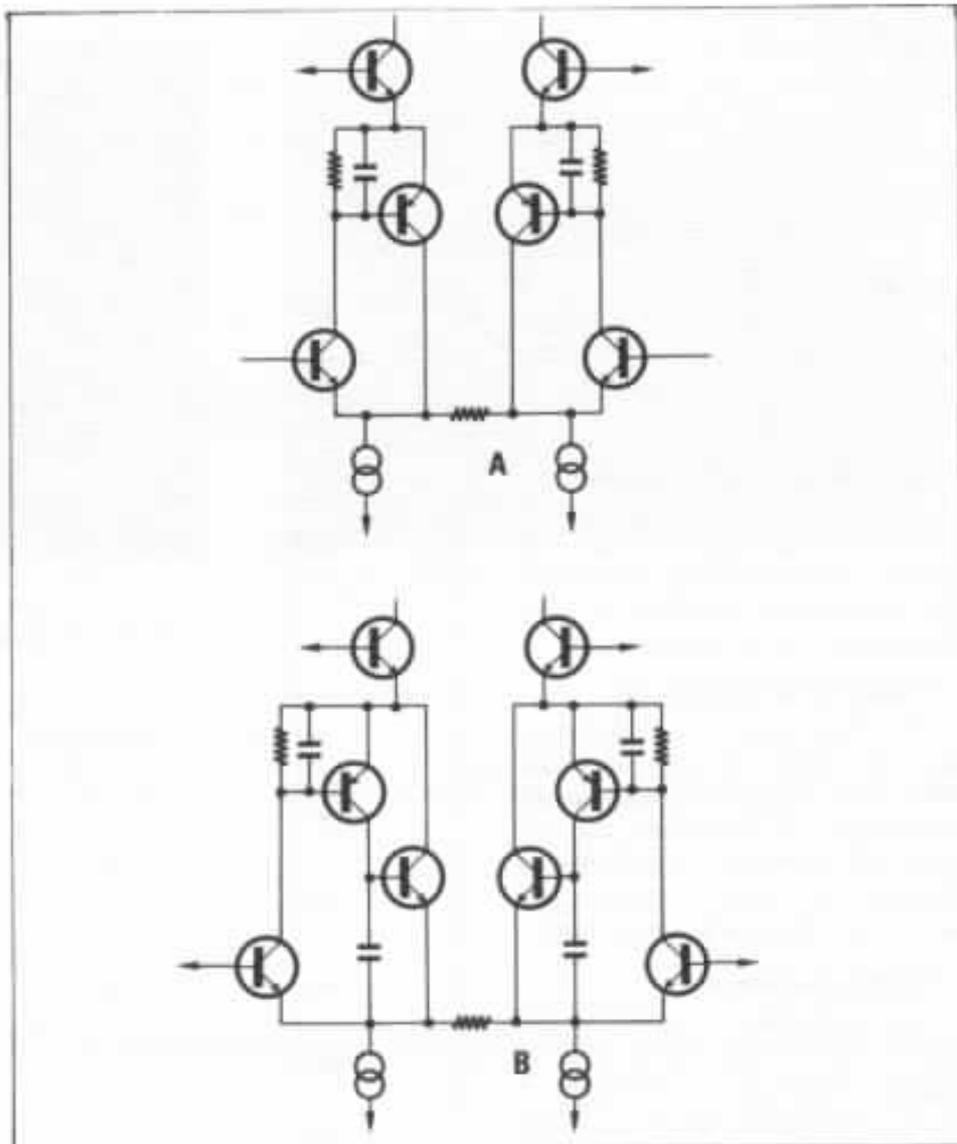


Fig. 20 : Les deux schémas du différentiel à montage Darlington. le circuit B plus instable nous contraint à une coupure plus basse en boucle ouverte.

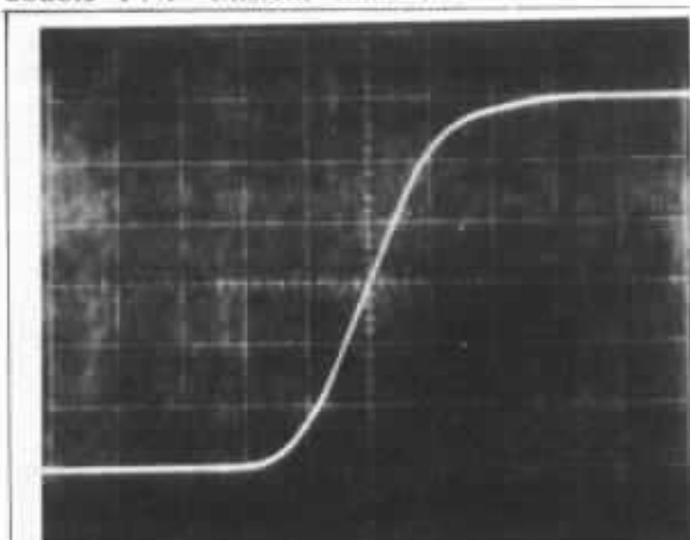


Fig. 21a : Circuit A à deux transistors.

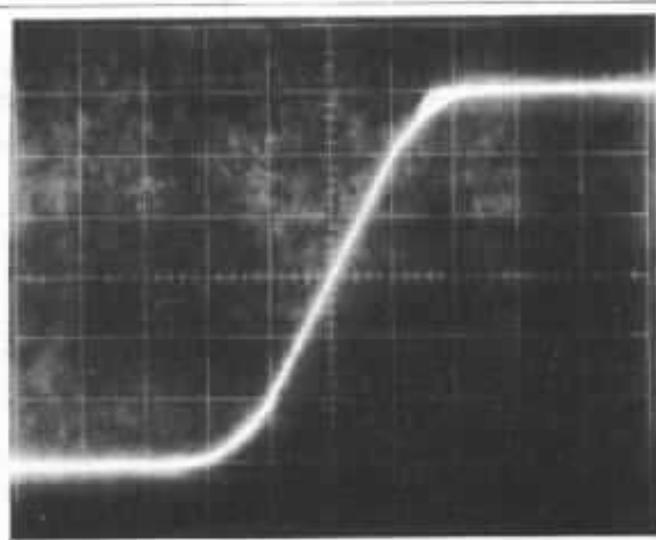


Fig. 21b : Circuit B à trois transistors.

Fig. 21 : Fonctions de transfert des différentiels à montage Darlington. Le circuit à trois transistors est plus linéaire et instable à la saturation.

sont rares — je ne connais que deux fabricants US — et chers).

- Fonction de transfert

Elles sont conformes à la théorie (cf. figure n° 21) et on retrouve la courbe de la figure n° 37 de notre étude théorique.

— Gain du montage

Le gain théorique est de 40 dB, la contre-réaction locale fait que le gain réel (cf. figure n° 22) en est proche.

- Distorsion harmonique

L'usage d'un montage à trois transistors ne permet pas de réduire beaucoup la distorsion par rapport au montage à deux transistors (cf. figure n° 23).

- Distorsion thermique

Par principe, ce type de montage doit être suivi par un montage base commune, cela limite les risques de distorsion thermique. La mesure a confirmé la théorie et nous n'avons pas relevé de distorsion de ce type.

- Bande passante

Les problèmes de stabilité qui sont assez ardues font que la bande passante du montage à trois transistors est plus faible que le montage à deux transistors (cf. figure n° 22).

- Mesure de phase

Cette mesure ne montre pas de limitations de slew-rate.

- Mesure de bruit

(cf. figure n° 22)

- Impédance d'entrée

(cf. figure n° 22)

Les mesures montrent le peu d'intérêt du montage à trois transistors par rapport à celui à deux transistors.

Le montage de Caprio

Ce montage (cf. figure n° 24) utilise le principe de la compensation des non-linéarités : T_1 et T_2 sont parcourus par le même courant (au courant de base

| Circuit | G | B | GB | e | Z_{in} |
|---------|------|------|-----|---------|------------|
| | dB | kHz | MHz | μV | k Ω |
| A | 39,8 | 5000 | 400 | 5,2 | > 100 |
| B | 39,8 | 1500 | 150 | 4,9 | > 100 |

Fig. 22 : Performances de gain, bande passante, bruit et impédance d'entrée du différentiel à Darlington.

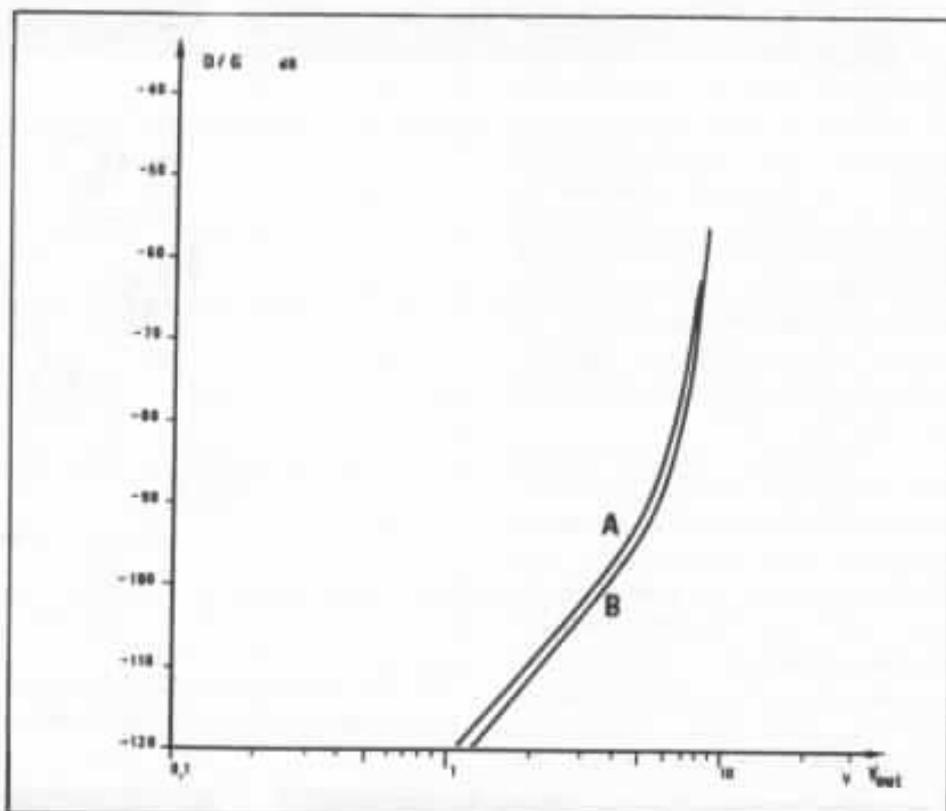


Fig. 23 : Courbe de distorsion du différentiel à Darlington. Elles ne dépendent pas de la fréquence.

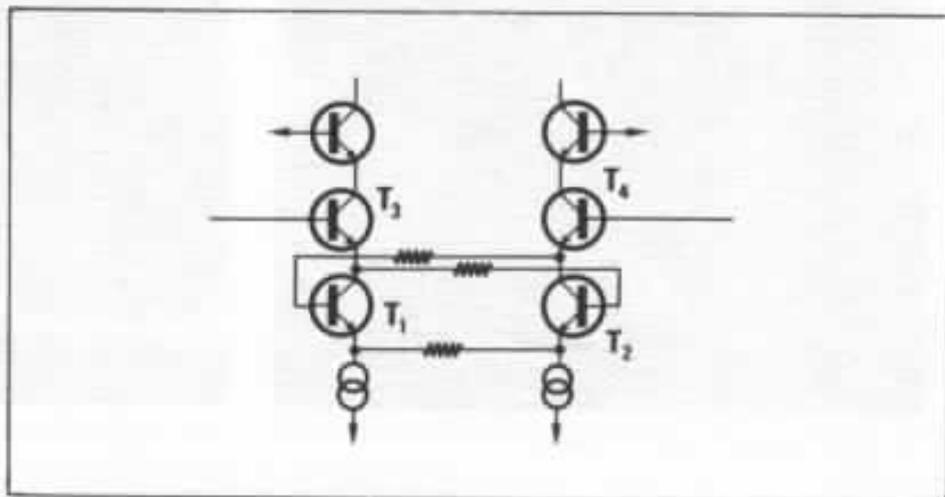


Fig. 24 : Schéma de Caprio.

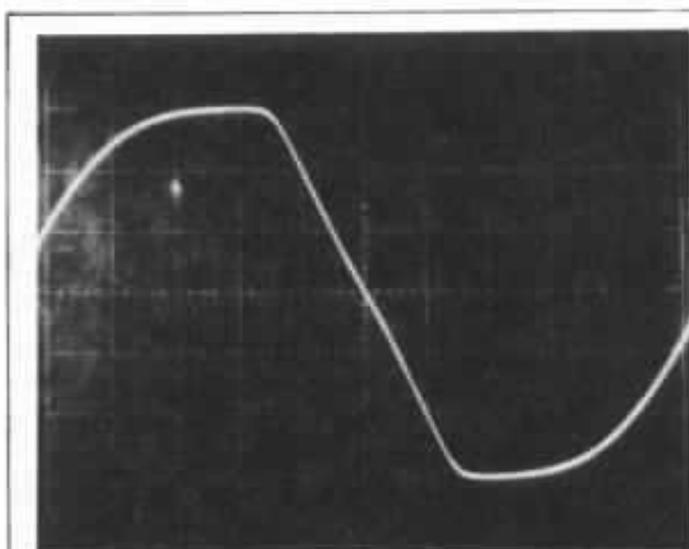


Fig. 25a : Avec des transistors courants (2N 2920).

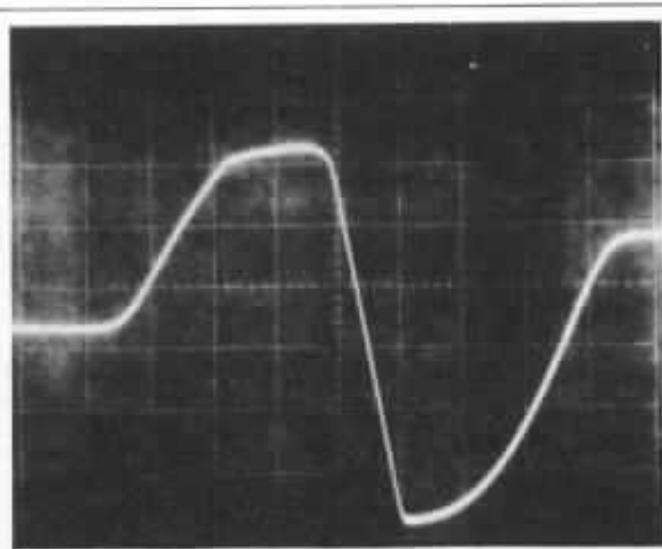


Fig. 25b : Avec de très bons transistors (LM 194).

Fig. 25 : Fonction de transfert du montage de Caprio.

près), ils ont donc la même tension base-émetteur. On peut faire le même raisonnement pour T_2 et T_4 . Les potentiels aux bornes de R_E sont donc les potentiels d'entrée diminués de deux tensions V_{BE} identiques ; R_E voit donc à ses bornes la tension d'entrée. On a obtenu un montage différentiel dans lequel la résistance intrinsèque d'émetteur ne vient plus limiter le gain et introduire des non-linéarités. Mais ce fonctionnement théorique idéalisé ne correspond pas à la réalité : l'identité entre les tensions base-émetteur souffre des mêmes limitations que dans le circuit à correction avale. Pour voir l'influence de la similitude entre les transistors sur les performances, nous avons fait des essais avec des 2N2920 (transistor double de qualité ordinaire) et avec des LM194 (de très bonne qualité). Pour limiter les conséquences de l'effet Early, nous avons utilisé le montage cascode (cf. figure n° 24) et introduit des résistances égales aux résistances vues par l'entrée, dans les bases des transistors de compensation pour rendre le plus identique les comportements des transistors (un effet secondaire de l'introduction de ces résistances de base est de rendre ce montage plus stable).

| Transistors utilisés | G dB | B kHz | G.B MHz | θ μV |
|----------------------|---------|----------|------------|---------------------|
| 2N 2920 | 38,3 | 610 | 20 | 2,3 |
| LM 194 | 40 | 240 | 24 | 3,2 |

Fig. 26 : Performance de gain, bande passante et bruit du montage de Caprio.

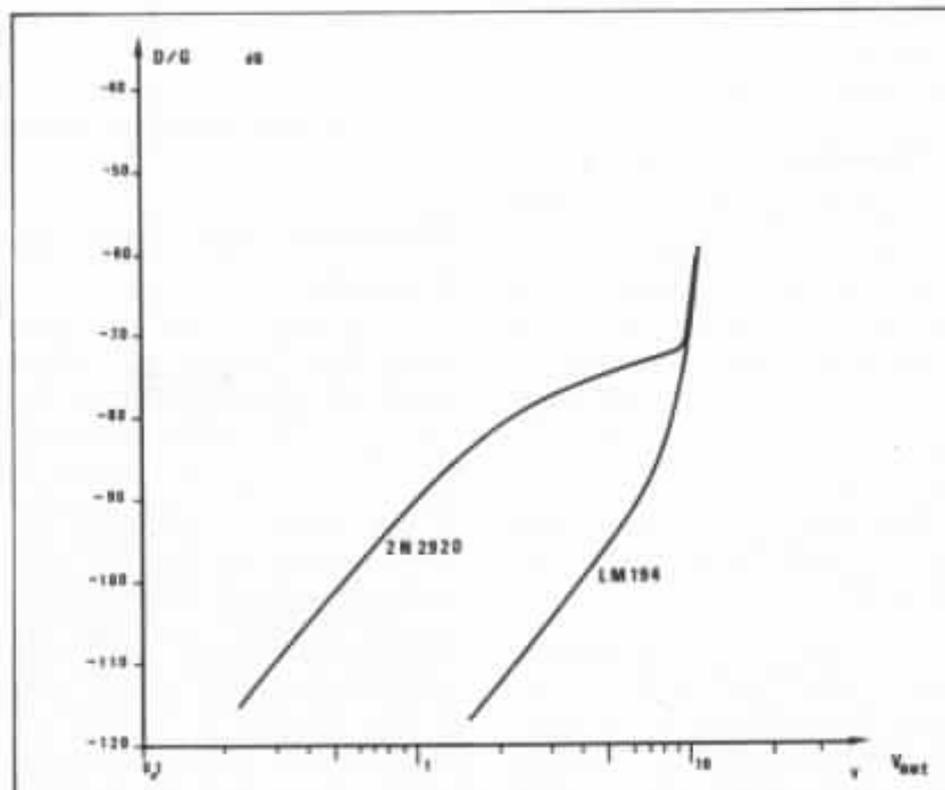


Fig. 27 : Courbes de distorsion du montage de Caprio. Elles ne dépendent pas de la fréquence.

- Fonction de transfert

Elles montrent la linéarité du montage (cf. figure n° 25) et un curieux phénomène de retournement de gain. Ce retournement peut conduire, sur des surcharges ou lors de la mise en route, à de fâcheux blocages de l'amplificateur.

- Gain du montage

Il est d'autant plus conforme à la théorie que les transistors utilisés sont meilleurs (cf. figure n° 26). Nous avons recherché un gain de 40 dB.

- Distorsion harmonique

Elle est très sensible à la similitude entre les transistors (cf. figure n° 27).

- Distorsion thermique

Pas de distorsion thermique pour ce montage.

- Bande passante

Elle est moyenne (cf. figure n° 26).

- Mesure de phase

Pas de problème lié au slew-rate.

- Mesure de bruit

(cf. figure n° 26)

- Impédance d'entrée

Nous avons trouvé une impédance d'entrée négative pour les 2N2920 et fait osciller le montage avec les LM194 lors de cette mesure. Les problèmes liés à cette mesure mettent en évidence les problèmes de stabilité inhérents à ce montage. Cela explique sans doute la très rare utilisation de ce montage malgré des performances surprenantes pour un montage aussi simple (en théorie).

Ce montage est très sensible aux composants utilisés, il est assez instable et peut être le siège de phénomènes de bascule (latch-up), mais il ne faudrait pas l'abandonner tout de suite.

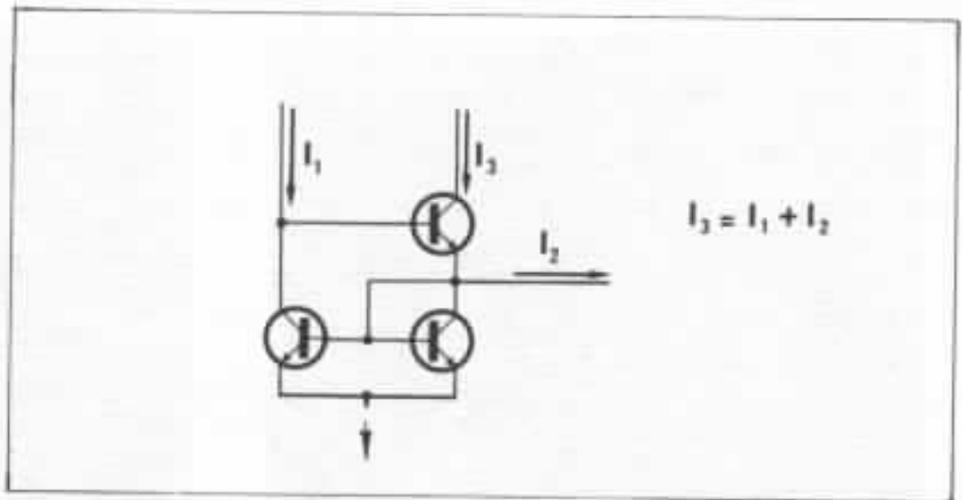


Fig. 28 : Propriétés opérationnelles du miroir du courant.

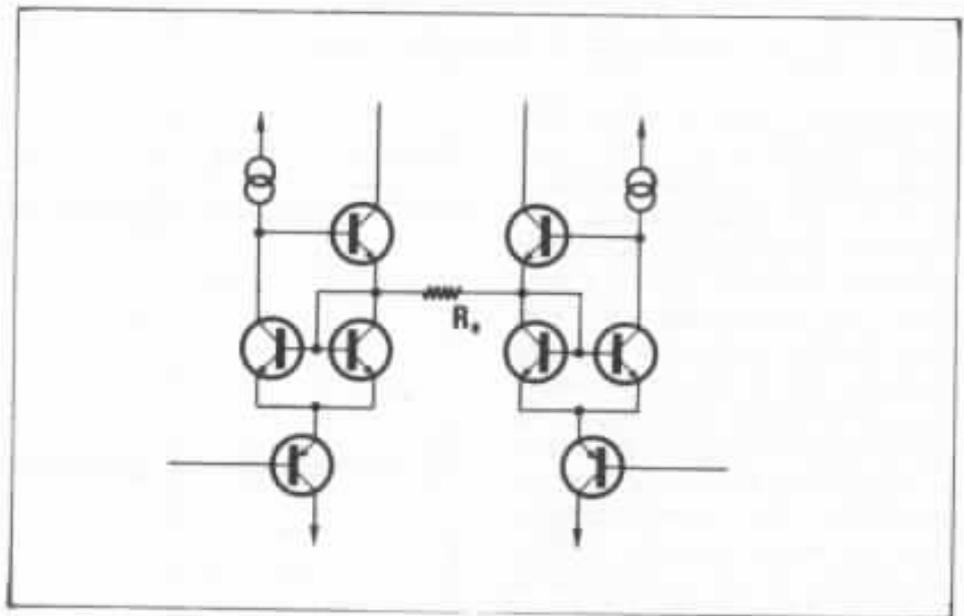


Fig. 29 : Schéma du montage de Van de Plassche.

Montage de Van de Plassche

Ce montage utilise une propriété bien connue du circuit miroir (cf. figure n° 28) qui est parfois utilisé comme additionneur de courant. Cette propriété qui peut sembler sans intérêt, permet d'isoler entre elles les sources de courant et de leur présenter un potentiel fixe. Dans le schéma proposé par Van de Plassche (cf. figure n° 29), la tension aux bornes de R_E est la tension d'entrée à la valeur de plusieurs tensions base-émetteur près. Or, les transistors correspondants sont parcourus par des

courants constants imposés par les sources de courants, les tensions V_{BE} sont donc constantes et la tension d'entrée se retrouve aux bornes de R_E à une valeur constante près.

Pour réaliser ce montage, nous avons utilisé des transistors très ordinaires, le cœur des miroirs de courant est un 2N2920.

- Fonction de transfert

Elle est très linéaire dans une grande dynamique (cf. figure n° 30).

- Gain du montage

Nous avons mesuré 40,1 dB pour 40 dB théorique.

- Distorsion harmonique

Elle est faible (cf. figure n° 31) mais elle peut encore être réduite par l'usage d'un LM194.

- Distorsion thermique

Nous en avons trouvé dans la première mouture de ce circuit. Elle était due aux transistors PNP d'entrée et a disparu après que nous avons réduit sa tension collecteur (-15 V au début).

- Bande passante

Elle est élevée : 4,2 kHz ; produit gain-bande : 420 MHz.

- Mesure de phase

Pas de limite de slew-rate au niveau de test (1 Vcc en sortie).

- Mesure de bruit

4,9 μ V de bruit à l'entrée dans la bande audio.

- Impédance d'entrée

Nous avons trouvé environ 13 k Ω .

Circuit Héphaïstos ?

Certains auraient peut-être aimé que, lors de notre étude théorique, nous présentions un circuit original de notre cru. J'avais bien une idée de circuit mais je ne pouvais pas en parler avant d'en avoir vérifié expérimentalement la validité (les résultats de nos expérimentations montrent qu'il y a parfois loin de la théorie à la pratique). Bien m'en a pris, les premiers essais ont été décevants et l'obtention des performances souhaitées passe par la maîtrise de boucles de contre-réaction imbriquées et la suppression de phénomènes parasites indésirables ; ces difficultés n'ont pas pu être encore résolues. Si elles ne finissent pas par l'être, c'est qu'il s'agit d'une fausse bonne idée à abandonner, sinon nous en reparlerons pour nos expérimentations subjectives.

Conclusion

Le but de nos expérimentations subjectives était de chiffrer

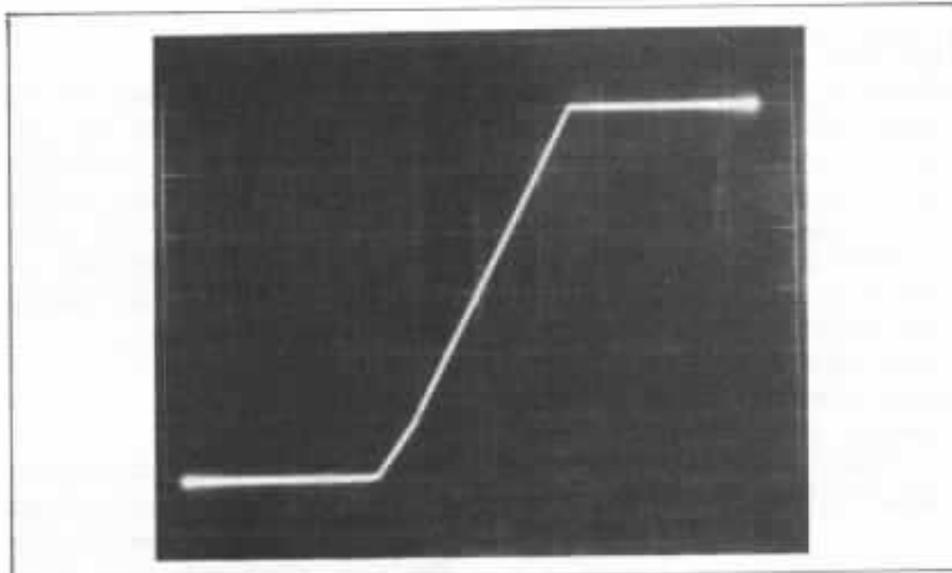


Fig. 30 : Fonction de transfert du montage de Van de Plassche.

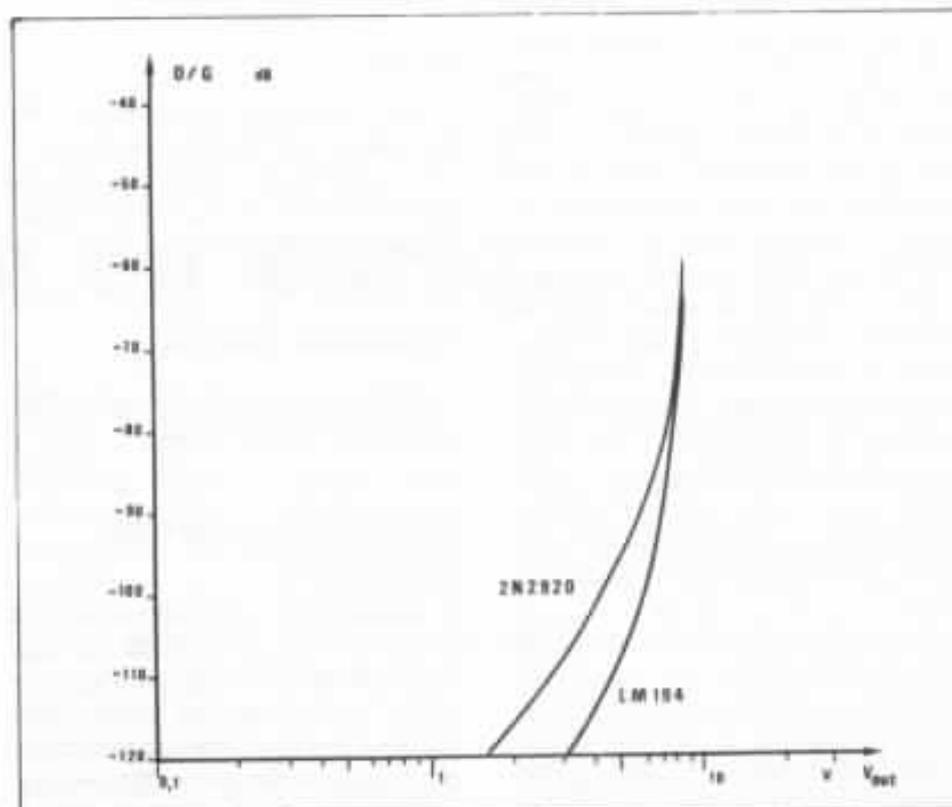


Fig. 31 : Distorsion en fonction du niveau pour le montage de Van de Plassche. Elles ne dépend pas de la fréquence.

les performances des circuits en lice, de mieux comprendre leurs fonctionnements et de sentir leurs limites. Nous pouvons estimer avoir atteint nos objectifs. Nous souhaitons aussi pouvoir à la suite de ces mesures être en mesure de faire une première sélection et éliminer un certain nombre des solutions testées ;

mais les choses ne sont pas aussi simple et il me semble difficile au seuil de l'expérimentation subjective d'éliminer définitivement une des solutions testées.

Les circuits que nous avons testés ont tous des qualités qui nous encouragent à les conserver pour l'expérimentation subjective. Par qualité, il faut non seu-

lement entendre les performances que nous avons mesurées (linéarité, bande passante, gain, bruit, impédance d'entrée, comportement lors des saturations), mais aussi les performances moins intrinsèques qui correspondent à la facilité de mise en œuvre de ces circuits (sensibilité aux types de composants, sensibilité aux valeurs des composants, nécessité de réglage précis, nombre de composants requis, possibilité de réaliser le montage dans les deux polarités).

Linéarité

Les circuits exotiques que nous avons testés ont des performances de linéarité souvent bien meilleure que le classique différentiel à deux transistors. Les gains de linéarités sont même parfois très impressionnants et nous laissent espérer pouvoir retirer de cette étude des progrès réels. Ceci dit, il serait vain de chercher à établir ici des comparaisons subtiles sur les allures des courbes obtenues. Nous connaissons trop les limites de cette mesure pour croire avec certitude que nos expérimentations subjectives confirmeraient un classement fait d'après ces courbes.

Les mesures de distorsion en transitoire, basées sur nos expérimentations relatives à la distorsion thermique et sur la limitation de slew-rate ont complété les mesures de type classique : elles nous conduisent à nous méfier un peu des solutions à circuits intégrés et elles nous ont permis d'éviter un piège sur un des montages testés.

Bande passante

Cette caractéristique qui permet de préjuger l'aptitude des circuits à participer à une boucle de réaction globale assez rapide pour être efficace, est assez variable. Mais avec un peu de soin elle peut être assez élevée dans beaucoup de cas.

Gain

Pour les montages exotiques, il est plus facile d'obtenir des gains importants que pour le différentiel classique. Ce n'est guère étonnant puisqu'ils utilisent plus de transistors.

Bruit

Ces mesures concernent un paramètre secondaire et elles ont été perturbées, nous ne ferons donc le point qu'aux expérimentations subjectives.

Impédance d'entrée

Elles sont toujours assez élevées pour notre besoin.

Comportement lors des saturations

Elles nous réservent parfois des surprises : à côté de circuits aux saturations bien sages, nous avons parfois des comportements curieux, voire dangereux : en effet, même si la dynamique calculée pour les signaux exclut d'aller jusqu'à cette saturation, il faut se méfier de la mise en route et veiller à ce que l'amplificateur retrouve toujours un état normal.

Sensibilité aux composants

Nos expérimentations nous ont montré que le choix de certains transistors ou la valeur d'une résistance pouvaient avoir de grandes conséquences sur la linéarité des circuits testés ; c'est un défaut pour un circuit. Dans le cadre de notre amplificateur expérimental, ce n'est pas un défaut rédhibitoire, mais à performances (subjectives) égales nous préférierions utiliser le circuit le moins sensible et le moins susceptible de se dérégler avec le temps ou avec une variation de la température ambiante.

Nombre de composants

Même si les circuits testés ont souvent un nombre de composants (surtout de composants actifs) largement supérieur aux schémas courants, nous n'avons jamais atteint une quantité telle qu'elle nous conduise à nous poser des questions.

Possibilité de réaliser des circuits complémentaires

Elle résulte de la sensibilité des circuits au choix des transistors à cause des limitations sur les performances et les disponibilités des transistors doubles PNP. Notre expérimentation subjective sera fera donc avec tous les circuits testés : 7 montages, un montage différentiel classique bipolaire et un représentant de chacun des montages testés ici. Cela représente beaucoup de travail mais devrait donner une expérimentation passionnante.

On en parle...

Amplificateur Lectron JH 50

Durant les trois journées d'écoute exceptionnelles que nous avons organisées les 7, 8 et 9 mars 87, plusieurs milliers de personnes ont pu découvrir et écouter notre nouveau développement : l'amplificateur à tubes Lectron JH 50 conçu par Jean Hiraga. Les démonstrations de cet amplificateur en large bande ont clairement mis en évidence les qualités de cette électronique. Le choix de la technologie à tubes pour développer un amplificateur d'une puissance d'une cinquantaine de watts est sans conteste celui qui permet de concilier au mieux les critères de dynamique, de définition, de balance tonale... D'autant que les choix ayant présidé à l'élaboration de ce projet nous ont permis de **nous affranchir complètement des limitations attri-**

buées à tort à la technologie à tubes : manque de tenue du registre grave, spatialisation quelque peu « enjolivée » et manquant de ponctualité. Les auditeurs ont pu pleinement juger des étonnantes qualités du JH 50 dans le registre grave en matière de tenue, de différenciation et de dynamique se situant au niveau des meilleurs amplificateur à transistors. Cela associé aux grandes qualités des électroniques à tubes dans le secteur médium-aigu.

Ces performances subjectives ont été obtenues par un travail systématique au niveau de chacun des éléments constitutifs de l'amplificateur : l'alimentation, le choix du circuit, le choix des tubes et des composants.

L'alimentation

Si la technologie à tubes offre des avantages décisifs par rapport à la technologie à semiconducteurs au niveau de l'alimenta-

tion (l'énergie stockée étant proportionnelle au carré de la tension, la capacité totale de filtrage n'a pas à être aussi élevée que dans le cas d'une électronique à transistors travaillant avec un faible tension) il ne faut pas négliger pour autant cet élément essentiel de l'amplificateur.

Dans la plupart des développements commerciaux, le transformateur d'alimentation est sous-dimensionné pour des raisons bien évidentes de coût de revient, de poids et d'encombrement. Dans le cas du JH 50, le transformateur d'alimentation pèse plus de 7 kg et sa taille correspond à celle des transformateurs équipant des amplificateurs de puissance trois à quatre fois supérieure. Un des éléments clés de la conception de cette alimentation était de garantir une stabilité des points de fonctionnement la plus grande possible de chacun des éléments actifs du montage.

Dans la plupart des amplificateurs à tubes du commerce, lorsque celui-ci est modulé à une puissance proche de sa valeur maximale, la tension d'alimentation « s'écroule » dans les proportions allant de 10 à 20 %, ce qui se traduit par des variations de haute tension pouvant aller jusqu'à près de 80 V ! Il s'en suit une dégradation de la qualité de restitution des fréquences graves ainsi que du pouvoir analytique de l'amplificateur qui ne sera plus à même de restituer simultanément des sons de très fortes amplitudes et des sons de petits niveaux caractéristiques de l'ambiance, des nuances d'interprétation, de richesse harmonique...

Cette déstabilisation due à une carence de l'alimentation est d'autant plus critique qu'elle ne se manifeste qu'en régime dynamique. En statique, comme cela est le cas lors des mesures conventionnelles, ces dégradations ne sont pas manifestes.

A part un transformateur d'alimentation surdimensionné, le JH 50, au plan de son alimentation offre de nombreuses originalités. Le redressement de la haute tension effectué en bi-alternance est confié à des diodes rapides filtrées par des résistances de sorte à lisser les pics de commutation. Ensuite, une self de forte valeur placée entre deux condensateurs de 220 μ F améliore la forme de la haute tension en la « débarrassant » de tout parasite. A noter que les condensateurs utilisés pour cette application ne sont pas des condensateurs haute tension conventionnels. Ces derniers offrent d'habitude de piètres performances en matière de résistance-série. Les modèles retenus ici sont de technologie faible résistance-série dont l'utilisation requiert des précautions particulières principalement au niveau de la surcharge en tension à l'allumage qui ne doit en aucun cas dépasser

480 V. Aussi un circuit de temporisation tout à fait original a-t-il été mis au point de sorte à offrir une mise en marche « automatique » : les filaments sont préalablement chauffés avant l'application de la haute tension. C'est un gage de fiabilité pour les condensateurs et pour les tubes.

Pour garantir la stabilité des points de fonctionnement de chacun des étages que nous souhaitons, une alimentation régulée haute tension a été spécialement mise au point pour alimenter les étages d'entrée, lesquels sont d'autant plus sensibles aux fluctuations d'alimentation en fonction du signal amplifié que leur gain est important. Cette alimentation régulée haute tension procure des performances exceptionnelles puisqu'à 40 Hz, elle équivaut à une charge de 12 000 μ F sous 450 V avec une résistance-série inférieure à 20 m Ω . De plus, les tests de cette alimentation sur des signaux transitoires ne laissent apparaître aucun pic de commutation comme c'est le cas sur la plupart des alimentations régulées dont la vitesse de réponse n'est pas suffisante. La grande stabilité de cette alimentation nous a permis d'optimiser, au volt près, le point de fonctionnement des deux tubes d'entrée de sorte à se placer dans les zones de plus grande linéarité et ainsi atteindre des valeurs de distorsion incroyablement basses pour un amplificateur à tubes. Cela sans avoir recours à des contre-réactions de taux élevé.

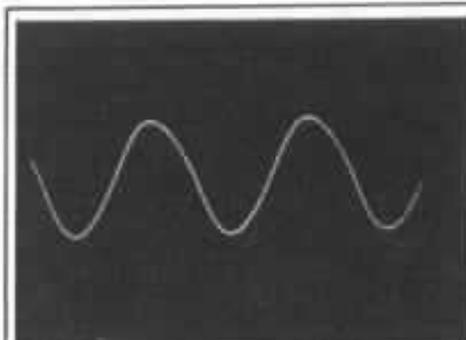
Dernier point relatif à l'alimentation, les filaments sont alimentés en alternatif ce qui ne constitue pas, comme on pourrait le penser, la solution la plus simple (questions de bruit de fond). De nombreux tests subjectifs ont bien mis en évidence le bien fondé de ce choix par rapport à une alimentation en continu dont l'explication théorique

se situe au niveau de la vitesse de transfert d'énergie.

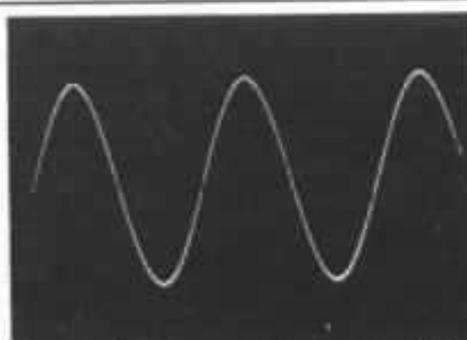
Le circuit

Selon notre habitude la configuration du circuit reste extrêmement simple. Des choix délibérés ont été fait quant au fonctionnement de l'étage de puissance. Un push-pull de EL 34 monté en tétrode est utilisé. Le montage ultra-linéaire a été exclu : si en termes de mesures il semble très prometteur, il faut bien voir qu'en fonctionnement dynamique sur des signaux transitoires ses performances sont loin d'être aussi idylliques. En effet, les tubes de puissance passent, suivant l'amplitude des signaux à traiter, d'un fonctionnement en triode à un fonctionnement en pentode en passant par la zone « ultra-linéaire » avec des caractéristiques et des « couleurs » sonores extrêmement différentes. Pour notre part, une des grandes qualités d'un amplificateur réside en la capacité qu'il offre à traiter simultanément des signaux de très forte amplitude et des signaux de très faible amplitude en conservant la même « couleur », le même timbre, la même balance tonale... En ultra-linéaire, l'asservissement en tension de l'écran agit comme un compresseur de dynamique, il améliore bien naturellement la distorsion en statique mais dénature considérablement la dynamique potentielle des tubes de puissance ainsi que leur linéarité en régime transitoire. Le montage en pure tétrode allié à la grande stabilité de l'alimentation garantit un mode de fonctionnement d'une linéarité exemplaire quelle que soit l'amplitude du signal.

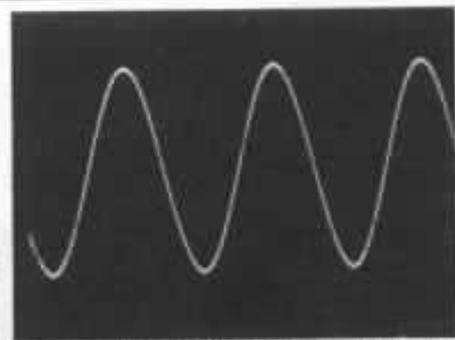
Le choix des tubes d'entrée n'est pas commun puisque nous avons retenu pour le premier tube une pentode 6SJ7 et pour le second une double triode 6SN7. Il s'agit là de tubes relativement anciens à support octal antérieurs aux modèles miniatures à



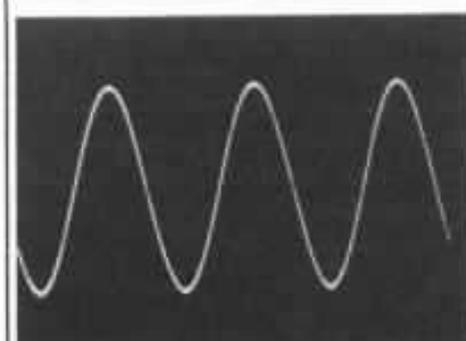
Forme d'onde en régime sinusoïdal du signal de sortie à 1,2 Hz !



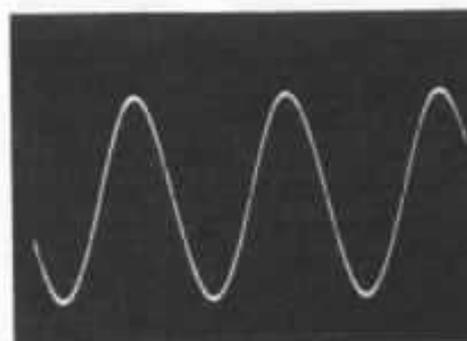
Forme d'onde en régime sinusoïdal du signal de sortie à 10 Hz.



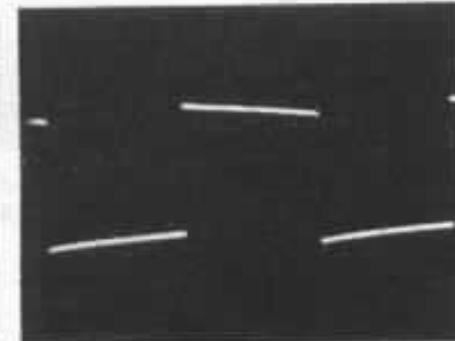
Forme d'onde en régime sinusoïdal du signal de sortie à 1 kHz.



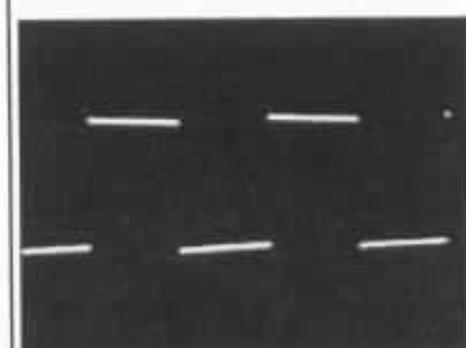
Forme d'onde en régime sinusoïdal du signal de sortie à 10 kHz.



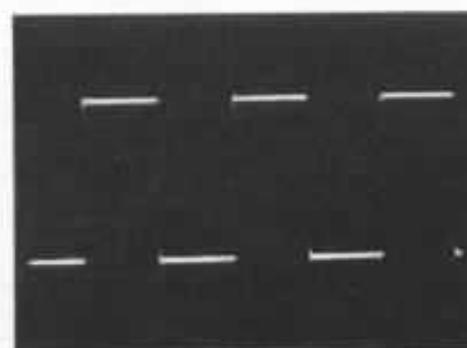
Forme d'onde en régime sinusoïdal du signal de sortie à 100 kHz !



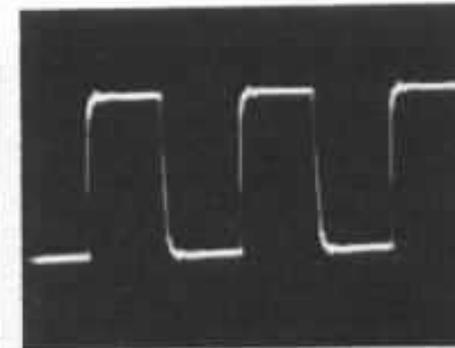
Réponse sur un signal carré à 10 Hz !



Réponse sur un signal carré à 40 Hz.



Réponse sur un signal carré à 1 kHz.



Réponse sur un signal carré à 10 kHz.

Formes d'onde du signal de sortie de l'amplificateur Lectron JH 50 excité en régime sinusoïdal et par un signal carré. Ces réponses sont significatives des performances étonnantes de cet amplificateur. Dans le secteur grave, on remarquera, pour une fréquence incroyablement basse pour un amplificateur à tubes, de 1,2 Hz, le signal sinusoïdal très peu déformé témoignant de la très grande qualité du transformateur de sortie. En signal carré, la faible pente des paliers atteste d'une réponse très étendue dans les basses fréquences ; la qualité de la réponse est du niveau des meilleurs amplificateurs à transistors. Dans le haut du spectre, l'onde sinusoïdale à 100 kHz n'est pas atténuée en niveau et sa forme révèle l'excellent comportement du transformateur Partridge dans les fréquences très élevées. Enfin, le signal carré à 10 kHz montre un temps de montée extrêmement rapide sans dépassement marqué, corrélant ainsi une réponse en hautes fréquences extrêmement étendue de forme douce sans accident. (Toutes ces mesures ont été effectuées sur une sensibilité de l'oscilloscope de 1 V par division à l'exception de la réponse de 1,2 Hz où l'amplitude est sensiblement réduite).

support noval utilisés dans la quasi-totalité des amplificateurs à tubes actuels. Ces tubes, de par leurs dimensions plus importantes, présentent un double avantage : d'une part des capacités parasites réduites et d'autre part une fabrication mécanique plus

massive et donc moins sensible aux vibrations. A signaler que pour la pentode d'entrée, la polarisation est particulière puisque l'écran est porté à un potentiel supérieur de près de 20 V à la plaque. Cela offre l'avantage sur ce tube d'obtenir des caractéristi-

ques de transfert d'une linéarité très supérieure à celle obtenue avec une polarisation plus conventionnelle. Là aussi, le faible niveau de distorsion est obtenu directement en travaillant sur la linéarité intrinsèque du montage et non en ayant recours à des

artifices, des compensations externes. L'étage déphaseur a pu être optimisé pour garantir une excellente linéarité en fonction de la fréquence, là encore cette optimisation n'a été rendue possible que parce que nous disposions d'une alimentation régulée extrêmement performante.

Le transformateur de sortie et les composants

Nous n'avons pas encore abordé l'élément-clé que constitue le transformateur de sortie dans un amplificateur à tubes. Il est bien évident qu'il serait illusoire de tirer pleinement parti de tous les raffinements mis en œuvre sur le JH 50 si la maillon final de liaison aux haut-parleurs n'était pas à la hauteur de nos exigences. De nombreux modèles ont été testés dans les meilleures fabrications internationales et cela sans limitation de coût. Nous avons fini par faire réaliser spécialement sur notre propre cahier des charges un modèle original par la très réputée firme anglaise Partridge, lequel outre des performances aux mesures au plus haut niveau nous a apporté une richesse de restitution incomparable dans le registre médium principalement.

Tous les composants passifs utilisés ont fait l'objet d'un soin méticuleux pour leur sélection tant en matière de performances techniques pures (linéarité, stabilité en fonction de la température, fiabilité...) qu'en qualités subjectives. Les supports de tubes font appel à des isolants céramique et sont montés sur une contre-platine totalement découplée du châssis principal par des amortisseurs. Le châssis est entièrement réalisé en aluminium de sorte à s'affranchir de toute forme de distorsion magnétique.

Les performances

Les spécifications sont excellentes. La réponse en fréquence s'étend à faible puissance de

1,5 Hz (sans déformation du signal !) à plus de 120 kHz, de 10 Hz à 90 kHz à demi-puissance. La puissance est supérieure à 50 W, la distorsion est extrêmement faible puisqu'à 1 kHz, 2 W elle est inférieure à 0,01 %, à 20 W 0,03 % et à 40 W 0,08 %. A préciser que la courbe de distorsion en fonction de la puissance délivrée a une forme très douce et régulière sans remontée à faible niveau. Un soin particulier a été apporté pour limiter la remontée de distorsion aux fréquences élevées, phénomène rencontré sur la plupart des montages d'amplificateurs à tubes. La réponse en signal carré est tout à fait exceptionnelle pour un amplificateur à tubes, à 40 Hz les plateaux sont à peine inclinés témoignant d'une coupure basse extrêmement étendue. A 10 kHz, aucun dépassement n'apparaît. Le temps de montée est de 2,5 μ s ce qui constitue une performance exceptionnelle pour un appareil à tubes. A noter que l'élaboration de cet amplificateur s'est faite avant tout sur des charges complexes de sorte à lui garantir une stabilité hors pair quelque soit le type de transducteur qui lui est associé. Le taux de contre-réaction enfin est extrêmement modéré puisqu'il n'est que de 17 dB.

Nos démonstrations de mars...

Pour ce mois de mars 87, nous n'étions pas présents aux Journées de la Haute-Fidélité, traditionnel rendez-vous des Audiophiles de toute provenance. Nous avons décidé de faire profiter les passionnés de reproduction sonore de conditions d'écoute bien supérieures et ce, dans deux lieux différents tant en superficie qu'en aménagements. Nous tenons dès maintenant à remercier les plus de 2 500 visiteurs qui sont venus spécialement nous voir et nous écouter ! Leurs encouragements, leurs félicitations et leurs... applaudissements nous confortent dans l'idée que le déplacement en valait la peine...

Au 14 rue de Belfort, à la Maison de L'Audiophile, nous venons d'aménager de nouveaux auditoriums dont un de 50 m² permettant de juger dans des conditions proches d'une salle de séjour classique les systèmes que nous présentons. Dans ce premier lieu, nous avons mis en écoute un système 3 voies Onken filtré en actif par un FA 1 (600-8 000 Hz). L'ampli de grave était le légendaire Kanéda 50+ 50 W que de nombreux Audiophiles ont découvert pour la première fois en France. Ils ont



Le nouvel amplificateur Lectron JH 50.

aussi pu constater le bien-fondé de tout ce que nous avons écrit au sujet de ce « mariage idyllique » : la transfiguration du grave en association avec la caisse Onken. Le médium 455 ES était confié aux amplis WE 300 B et l'aigu OS 5000 T aux amplis Nemesis équipés d'un nouveau transformateur de sortie Tango. Pour mettre en évidence les qualités et les différences des montages monotriodes, nous utilisons parallèlement des enceintes « Voix du Théâtre » équipées d'un moteur TAD + pavillon bois sablé « Le Dauphin » filtrées en passif à 500 Hz (12 dB/oct.). Des comparaisons subjectives instantanées ont donc été faites entre les tubes 300 B, VT52, AD1 et 2A3 attaquant les transformateurs de sortie Partridge et Tango. Bien des auditeurs ont été surpris par la dynamique incroyable de ces amplis dont la puissance nominale n'était comprise qu'entre 1,8 et 6 W ! Les sources de modulation étaient un lecteur C.D. Pioneer PDX 520 ainsi qu'une platine Micro 1500 sur laquelle était monté un bras SME 3012 et une cellule Denon DL 103. Cette dernière était couplée à un transformateur Denon AU 301.

Les préamplificateurs étaient Le Solstice, Le Tube ainsi qu'un

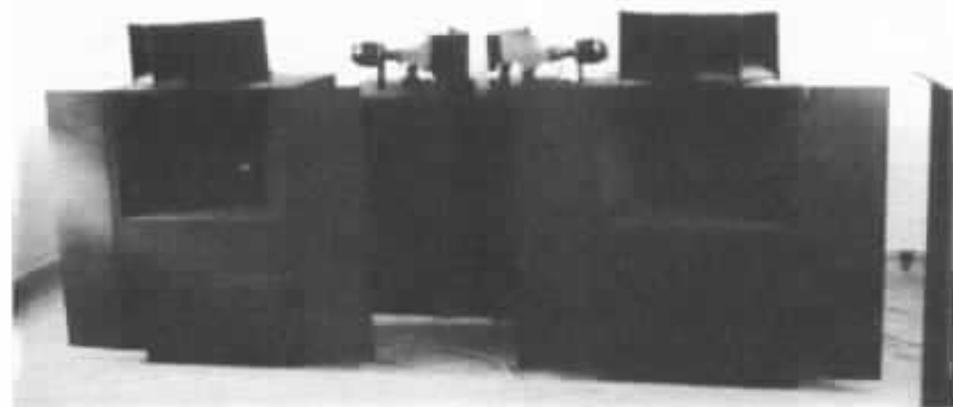


Plusieurs conférences sur des thèmes techniques et musicaux furent organisées ; ici, débat avec le public. De gauche à droite, Jean Hiraga, Gérard Chrétien, Héphaïstos.

prototype équipé d'une correction RIAA passive sur lequel nous reviendrons prochainement (les expérimentations se poursuivent actuellement). Enfin, le nouvel ampli Lectron JH 50 50 + 50 W, utilisant un push-pull EL 34 et des transformateurs Partridge réalisés sur cahier des charges était écouté sur les mêmes « Voix du Théâtre » et des Tannoy Westminster. Cet ampli utilise une alimentation sans compromis (filtrage par self, condensateurs de forte valeur, alimentation stabilisée ultra-rapide) garantissant des points de fonctionnements très

stables. Il était le cœur d'un autre système passif, installé dans un théâtre de 160 m² situé à deux pas de la Maison de L'Audiophile. Le choix du filtrage passif était délibéré, afin de faire fonctionner l'ampli JH 50 en large bande et sur charge complexe, donc dans des conditions plus difficiles qu'en actif, mais aussi plus courantes au niveau de la plupart des installations d'amateurs. Afin également que les visiteurs puissent juger de la qualité de restitution du JH 50 sur toute la bande audio.

Pour bien cerner sa personnalité, nous avons choisi de présenter un système de transducteurs à très haute définition. Au dessous de 240 Hz, le registre grave était confié au caisson Onken W équipé de deux H.P. Altec 416-8C, de 240 Hz à 1 kHz le bas-médium était confié à un grand pavillon Western Electric 15 A modifié au niveau de sa gorge pour s'adapter aux moteurs Westrex 2080 (1,5'') plus linéaires et plus fiables que les WE 555 d'origine. De plus, ces superbes moteurs sortis vers 1940, soit dix ans après le 555, sont à aimantation permanente (Alnico). Le rendement d'une telle association frôle les



Les Voix du Théâtre dans le nouvel auditorium de la Maison de L'Audiophile.

115 dB/W et nous a conduit à concevoir deux atténuateurs série sur le filtre passif afin de s'aligner sans trop de problèmes sur les « petits » 100 dB de rendement de la voie grave !... De 1 kHz à 8 kHz nous avons « logé » (cf. photos) un TAD 2001 + pavillon bois sablé dans la bouche du 15 A, ainsi qu'un tweeter JBL 2405 H chargé de la restitution des fréquences supérieures à 8 kHz. Ce positionnement des haut-parleurs a permis une mise en phase très précise. Tous les câbles d'interconnexions étaient les fameux Isoda dont les 3160 et les nouveaux 3600. Le préampli était le Solstice ; la source analogique était une platine Verdier équipée d'un bras long (un prototype décrit par Guy Marec dans le présent numéro), la cellule étant une

Denon 103. Les sources numériques étaient respectivement un Philips 160 modifié et un Stax Quattro CDP.

On nous a parfois reproché de présenter des systèmes aussi fabuleux qu'inaccessibles, aux performances écrasantes mais malheureusement toujours aussi impossibles à écouter en France. C'est faux, du moins partiellement. En effet, Jean Hiraga et l'équipe de L'Audiophile se sont toujours efforcés de présenter, en France, dans la mesure de leur possibilités, des systèmes d'un niveau proche voire même égal aux meilleurs systèmes connus jusqu'à ce jour. Bien des audiophiles gardent en mémoire les « grandes écoutes » du Nikko, en 1979, avec le système Onken, celles de l'hôtel Victor Hugo, celles des Journées de la Haute-



Vue de détail de la pièce d'adaptation en résine moulée spécialement réalisée pour cette manifestation, entre le moteur Westrex et le pavillon 15A.

Fidélité avec, d'année en année des perfectionnements évidents (le système présenté l'année précédente était une configuration Onken 4 voies quadri-amplifiée !). Cette année, nous avons décidé de faire encore mieux, ceci afin de faire comprendre que la haute-fidélité telle que nous la concevons, bien au-delà des considérations de snobisme ou de « cheveux coupés en 16 », n'est en réalité que la recherche de la « haute » fidélité, de la reproduction des sons et de la musique de façon « hautement fidèle ».

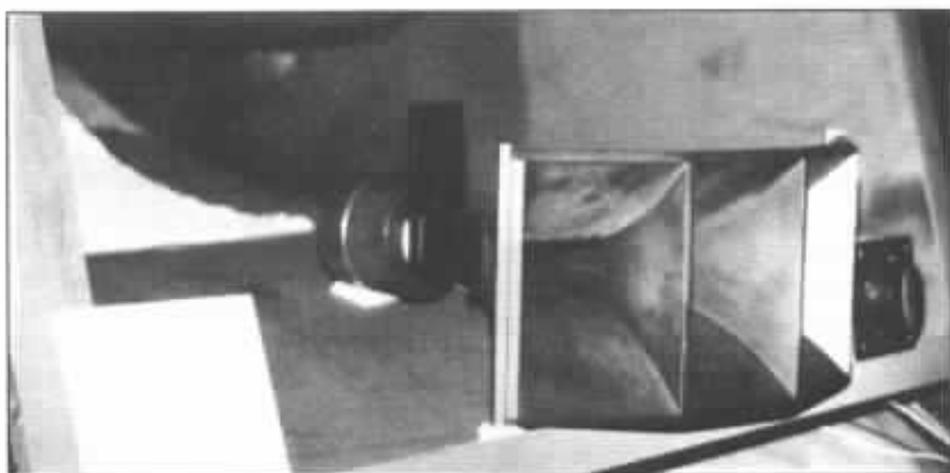
Même si les conditions d'un salon sont toujours loin d'être idéales et qu'une bonne mise au point ne peut être faite en quelques heures, le réalisme sonore, la véracité des timbres, la dynamique exceptionnelle d'un tel système peuvent donner une idée assez précise de résultat que peuvent obtenir quelques audiophiles japonais qui « figent » de telles installations depuis quinze ans ! Sur un système aussi défini on peut, cette fois, entendre des différences subjectives entre les électroniques, les lecteurs C.D., les câbles ou les composants tels qu'ils deviennent des évidences objectives... Nier ou même minimiser de telles différences, non pas par mauvaise foi, mais à cause d'enceintes qui, en compa-



Le grand système Onken W-Western Electric 15A-TAD 2001-JBL 2405 H en compagnie de M. Isoda.

raison, se comportent comme de véritables « étouffoirs », c'est niveler la reproduction sonore par la base. Même avec beaucoup d'entraînement, il reste impossible de jouer correctement du piano avec « des gants de luxe ».

Cela ne signifie pas pour autant qu'en dehors d'un tel système la haute-fidélité n'existe pas : de nombreuses installations plus « domestiques » font heureusement passer l'émotion et le plaisir musical. Mais nous pensons que pour évoluer positivement en haute-fidélité, il faut avoir à l'esprit une réelle échelle des valeurs et une idée précise du niveau que peut atteindre la reproduction sonore sans compromis. C'est la raison d'être de nos prestations hors du commun lors des salons.



Vue de détail du positionnement des voies médium et aiguë dans le pavillon de bas-médium.

Nous persisterons sur cette voie afin d'éviter, si possible que l'on prenne des vessies pour des lanternes.

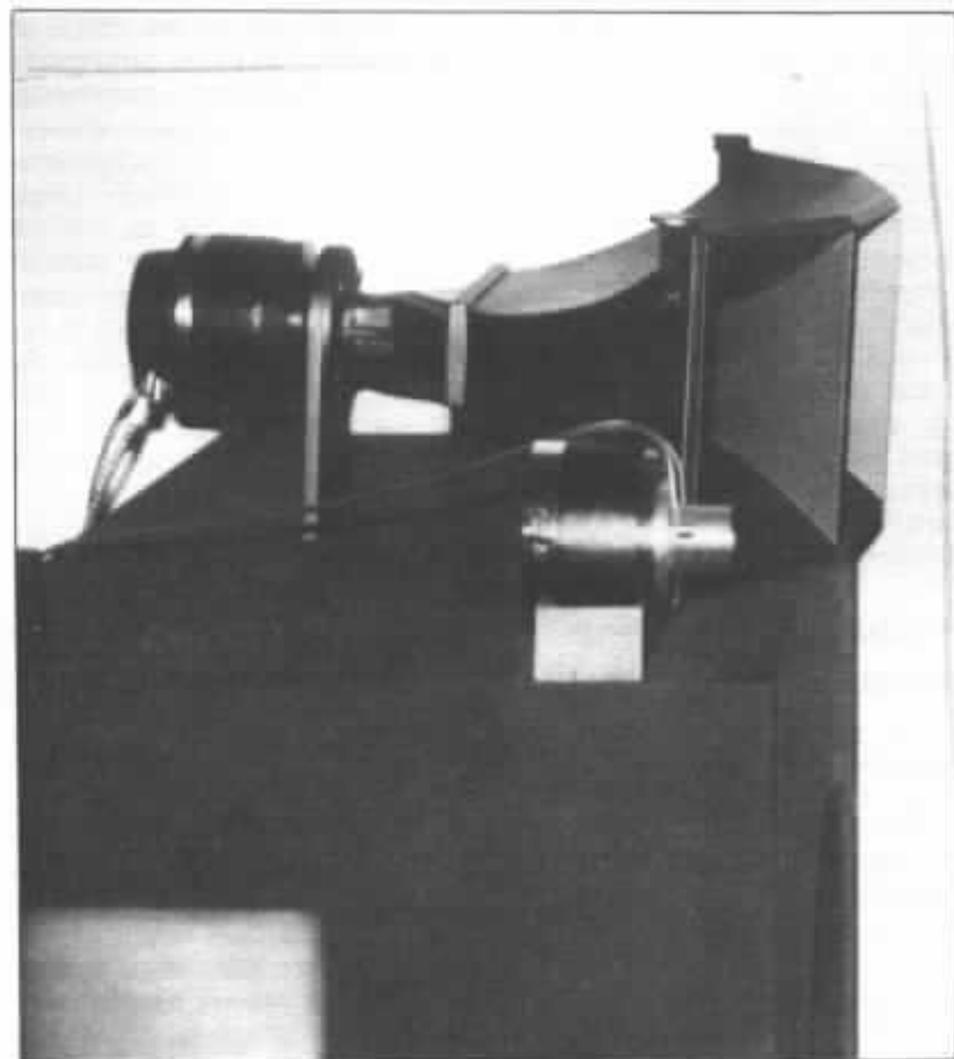
Durant ces trois jours, nous avons aussi proposé à un public nombreux des conférences-débats sur des thèmes techniques

et musicaux. Jean Hiraga a ainsi présenté entre autres son nouvel ampli Lectron JH 50 en précisant ses critères de choix pour les différentes solutions retenues (alimentation, choix des tubes, configuration du schéma).

Parmi les autres conférences, il faut retenir celles présentées par notre critique de disques, Francis Albou, sur l'analyse de fragments d'œuvres de Mozart et de Haendel. Analysant avec précision, mesure par mesure, en phrases musicales, il a ainsi fait prendre conscience que la musique, jugée de nos jours essentiellement sur un critère émotionnel et esthétique, est avant tout un message que le compositeur veut faire passer par son intermédiaire. Une analyse de la première scène du Don Juan de Mozart a permis à bon nombre d'auditeurs de redécouvrir une œuvre qu'ils croyaient pourtant connaître !...

Lowther, des problèmes !

L'excellent 21 cm Lowther PM6 qui a fait l'objet de plusieurs parutions dans ces colonnes nous a posé de sérieux problèmes ces derniers mois. En effet, plusieurs amateurs ont eu des problèmes de fiabilité : bobine mobile coupée sans raison évidente. La Maison de L'Audiophile a mis tout en



Le système Onken original présenté dans le grand auditorium de la Maison de L'Audiophile.

œuvre pour dépanner ces personnes en échangeant les exemplaires défectueux par des modèles neufs. Malheureusement, de gros problèmes d'approvisionnement depuis plus de six mois n'ont fait qu'aggraver les choses d'autant que les modèles envoyés en réparation n'ont jamais été réexpédiés... A l'heure où nous rédigeons ces lignes, nous n'avons pu avoir d'explications tangibles de la part du distributeur. Cela nous a beaucoup peiné car le PM 6 est réellement un haut-parleur que nous aimons. Face à cette carence, nous avons entrepris de nombreux essais de remplacement. Fort heureusement, nous disposons depuis l'été dernier d'un 17 cm français de conception large bande, le Triangle T 17 FL. Celui-ci a fait l'objet d'une étude détaillée dans notre n° 38, consacrée à l'excellente « petite » enceinte TQWT. Le T 17 FL, de par son rendement supérieur à 95 dB, peut être utilisé moyennant quelques modifications mineures en remplacement du PM6, principalement dans l'association que nous apprécions tout particulièrement Mini-Onken-PM6-Technics 5HH10. Le même type de charge, genre caisson ouvert, est utilisé, seuls le perçage du baffle est différent. Le filtrage est très légèrement modifié, la self de 0,38 mH est abaissée à 0,3 mH. Ainsi réalisé, ce système conserve toutes ses caractéristiques et ses qualités ; l'accentuation dans le secteur haut-médium pouvant être procurée par le PM6 dans certains cas particuliers n'est plus manifeste avec le T 17 FL. Enfin, dernier détail, agréable celui-ci, le coût du 17 cm Triangle est très inférieur.

Nouveaux transistors drivers pour les amplificateurs Hiraga

Les amplificateurs Hiraga 20 W et 30 W classe A utilisaient jusqu'à présent des transistors

drivers de type bipolaire, de référence 2SA 634 (PNP) et 2SC 1096 (NPN). Associés aux transistors de puissance, ils forment le fameux circuit Darlington inversé appelé DarlingNot dont les avantages sont très nombreux. Sur les deux amplificateurs classe A en question, ces performances très poussées de l'étage de sortie ont été obtenues grâce au circuit utilisé, mais aussi grâce à des transistors drivers et de puissance possédant des caractéristiques très précises. Sur les derniers amplificateurs Hiraga Classe A et Le Classe A, les transistors drivers ont été remplacés par de nouvelles versions encore plus performantes. Le C_{ob} passe ainsi de la valeur initiale de 75 pF à 30 pF, le f_t passant à 100 MHz (au lieu de 55 MHz). Le V_{CHO} , de 40 V (valeur initiale) atteint cette fois 160 V et le P_c passe à 25 W (au lieu de 10 W). On obtient ainsi un montage plus fiable (la tension secteur dans certaines régions dépassant 230 V), des chiffres légèrement inférieurs en distorsion et surtout une restitution encore plus transparente, y compris sur des passages musicaux complexes, ceci lorsque l'amplificateur est proche de l'état de saturation de ses étages de puissance. Ce sont d'autres part des transistors drivers qui pourraient trouver d'autres applications dans nos prochaines réalisations.

Condensateurs polypropylène métallisé PB

La société des condensateurs Record, plus connue sous son sigle S.C.R., implantée à Châteauroux, s'est taillé une part de marché très importante dans le domaine des condensateurs au papier métallisé pour applications dans les filtres passifs d'enceintes acoustiques. Depuis fin 86, en association avec la firme canadienne Solen Electronique Inc. pour la commerciali-

sation mondiale, S.C.R. a mis sur le marché de nouveaux condensateurs au polypropylène métallisé dont la référence internationale est Châteauroux Série PB Type EN. Ceux-ci ont été conçus selon les spécifications de Solen Electronique Inc. qui, outre les caractéristiques purement techniques s'est attaché aux performances subjectives (il est fait référence aux tests de Martin Colloms dans Hi-Fi News & Record Review, nul n'est prophète en son pays...).

Les qualités du polypropylène en application audio ne sont plus à prouver, ce diélectrique a en effet un faible facteur d'absorption diélectrique ainsi qu'un faible facteur de dissipation et donc des pertes minimales. La gamme des valeurs s'étend de 1 μ F à 200 μ F sous un isolement de 250 V en continu ou 150 V en alternatif. Parmi les caractéristiques, il convient de mentionner une excellente stabilité mécanique, une faible self-inductance, une résistance-série très basse, une haute capacité en courant ainsi qu'une excellente stabilité en fréquence et en température. Le facteur de dissipation à 20° et le facteur d'absorption diélectrique à 20° sont tous deux inférieurs à 0,1 %. Les sorties sont en cuivre pur et l'encapsulation en résine époxy.

Il est encourageant de voir une société française se spécialiser dans ce type de composants à destination audio. Pour notre part, c'est un condensateur que nous avons testé et retenu pour ses très grandes qualités. Outre les filtrages passifs d'enceintes, nous lui avons trouvé des applications fort intéressantes en découplage dans les électroniques à tubes. Les lecteurs pourront en trouver une excellente application dans ce numéro en se référant à l'article relatif à la réalisation pratique de l'amplificateur 300 B.

C.D. Audio Lab

Ce label de disques japonais n'est pour ainsi dire pas connu en France. Il est vrai qu'il n'a jamais été distribué sur notre territoire et que son catalogue était limité. Plus particulièrement spécialisé dans le jazz, c'est un label que nous aimons beaucoup pour la qualité de ses prises de son et de ses interprétations, un peu à l'image des fameux disques TBM. La Maison de L'Audiophile a obtenu voilà plus d'un an pour ses propres démonstrations quelques exemplaires d'un disque intitulé « The Dialogue ». La demande a été telle qu'elle a décidé pour sa clientèle de l'importer. Ce disque, d'une qualité technique exemplaire, consiste en un dialogue, d'où son titre, entre une batterie et successivement une contrebasse, des percussions, un vibraphone, une guitare, un saxophone ténor et un trombone. Outre la qualité du test que représente un tel enregistrement, le niveau de prestation des interprètes au plan musical

en fait un disque qui dépasse la simple démonstration. Mentionnons également sous ce même label toute la série des « Side by Side » en trio ou en quartet autour d'un piano jazz. Enfin, notons que le catalogue d'Audio Lab s'est enrichi d'enregistrements classiques d'un excellent niveau tels « le Mozart Piano Concerto Album » qui concilie superbement interprétation et qualités techniques.

C.D. Staccato

Très beau disque test édité sous l'initiative de la revue allemande « Audio », Staccato commence par un superbe solo de contrebasse de Ray Brown dévoilant d'emblée une qualité de prise de son exceptionnelle. Ce disque de démonstration comporte 36 plages pour une durée de 60 mn. Les 12 premières plages traitent chacune d'un instrument : contrebasse, guitare, basson, saxophone, flûte, cornemuse, piano (Stenway et Bosendorfer),

orgue, gong géant, vibraphone, percussions... Viennent ensuite des bruits naturels que chacun



d'entre nous a en mémoire auditive : cloches, verre brisé, sonnerie de téléphone, chants d'oiseaux, orage (surprenant !)... puis divers enregistrements de voitures, tracteur, hélicoptère, avion, locomotive, bowling, stades, feux d'artifice, applaudissements... Pour conclure, quatre plages purement techniques de bruit rose, repérage des canaux, phase. Bref, un cocktail complet conciliant parfaitement les tests à caractère musical et les bruitages. Certes, ce ne sont pas les disques de démonstration qui manquent mais très rares sont ceux dont les qualités de prise de son en particulier se situent au niveau de ce compact-disque allemand. Durant les trois journées de démonstration de mars, des extraits de ce disque ont déclenché l'étonnement des auditeurs dont nombre d'entre eux s'empressèrent à la fin des démonstrations de noter la référence. Plus spectaculaire, mais aussi plus facile à passer que The Pulse dont nous avons parlé à plusieurs reprises dans cette même rubrique, ce compact lui est complémentaire. Bien qu'édité en Allemagne depuis plusieurs années, il n'avait pas franchi nos frontières. La Maison de L'Audiophile l'importe désormais pour le mettre à la disposition de tous les amateurs français.



**Page non
disponible**

