

# L'AUDIOPHILE

N° 25 NOUVELLE SÉRIE 16<sup>È</sup> ANNÉE

## QUID

• **REALISATION PERSONNELLE :**  
**UN HAUT-PARLEUR ELECTROSTATIQUE**

• **THEORIE :**  
LES CABLES, LES CONDENSATEURS ET LA MEMOIRE DES ISOLANTS...

• **IDEES NOUVELLES :**  
**PAR DELA LES LIMITES DE LA MESURE**

• **POINT DE VUE :**  
LE SYSTEME DE CORRECTION D'ENVIRONNEMENT ACOUSTIQUE SIGTECH AEC1000

• **POINT DE REPERE :**  
L'AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE MUSICAL

**CLASSIQUE :**  
Les grands disques de ces deux derniers mois

**JAZZ :** Ella, elle l'a

## ACTIVITES DES CONSTRUCTEURS



Motivation pour la création d'une ligne de câbles Haute-Fidélité de très haute définition

M 2569 - 25 - 55,00 F - RD



HAUTE FIDELITE PLUS!

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

# Quoi de neuf?

## A L'AFFUT DES NOUVEAUTÉS

# L

Jean Hiraga

*es périodes de conjoncture économique sont pour beaucoup de constructeurs un terrain fertile, propice à faire fleurir plein d'idées, d'inventions ou bien encore qui les stimule en les forçant à faire de prodigieux bonds en avant en matière de rapport performances/prix*

Il y a à peine trente ans, le prix d'une chaîne Hi-Fi stéréophonique digne de ce nom était représentative d'une bonne année de salaire. Pour le prix d'un salaire, on ne pouvait guère se procurer qu'un petit électrophone avec son haut-parleur logé dans le couvercle. Aujourd'hui, les choses ont beaucoup changé. Les maillons audio ont considérablement évolué et sont offerts à des prix de plus en plus compétitifs. Il y a seulement cinq ou six ans, un processeur numérique d'effets sonores valait près de 10 000 F. Actuellement, en été 93, on peut s'offrir chez Aïwa, pour moins de 7 000 F, la mini-chaîne NSX-D909 (figure 1) qui comprend non seulement un processeur DSP à 12 modes (dont 6 programmables) mais également :

- 2 amplificateurs, dont un pour les voies arrière.
- tuner AM-FM à synthèse de fréquence et 36 pré-sélections.
- double K7 auto-reverse, avec fonction copie rapide
- lecteur CD avec plateau rotatif 3 disques, 1 bit 8 fois suréchantillonné
- égaliseur paramétrique 15 bandes
- commandes générales sur pupitre motorisé

- décodeur Dolby Surround
- afficheur multi-fonctions
- télécommande 60 fonctions
- timer deux modes
- enceintes 3 voies bass-reflex, sans compter un bon nombre de "gadgets", la plupart fort utiles (renforcement de l'extrême grave par exemple).

Autre avantage que nombre de mini-chaînes ne possèdent pas forcément : des sorties numériques, des entrées et sorties complémentaires standard Cinch. Pour parler de prix "compétitif", il ne faut pas perdre de vue qu'en retirant du prix de vente, déjà hyper-compétitif la TVA, les marges du revendeur et de l'importateur, les divers frais d'approche tels que taxe de douane et transport, la marge bénéficiaire du constructeur est bien maigre : il n'est pas rare que pour ce type de produit "le petit revendeur du coin" se plaigne de ne gagner que 7 à 8 fois plus que lui par appareil. A propos de mini-chaînes et si l'on parle souvent de "vulgaire plastique", on oublie que l'outillage, les moules à injection de haute précision peuvent représenter pour le constructeur un investissement de plus de deux millions de francs pour

un seul modèle, c'est-à-dire 2 à 300 F par modèle pour une quantité de 10 000 pièces. Ce n'est pas rien, car chaque constructeur dispose en moyenne de 5 à 10 modèles par gamme. Soit 50 à 100 modèles au moins pour toutes les firmes impliquées dans ces genres de produits... qui seront remplacés par de nouveaux tous les 8 à 12 mois.

Peu de firmes (heureusement) sont capables de supporter un tel rythme, rarement en phase d'ailleurs entre ses deux extrêmes (fabrication-vente au détail). Il est fréquent qu'une chaîne récente en cache déjà une autre.

Domage que les constructeurs ne puissent tenir compte des phénomènes d'inertie avec, au bout du compte, le cas classique du produit qui commence à être très demandé juste au moment où le constructeur a décidé de passer à la génération suivante. Doit-on se consoler en pensant que dans le monde de l'informatique, ce rythme semble encore plus fou ? En tous cas, il semble injuste de sous estimer les mini-chaînes, les chaînes midi et amplis intégrés qui ne sont des bas de gamme qu'au niveau de leur prix. Encore chez Aïwa, l'amplificateur intégré XA-



Figure 1 : Mini chaîne Aiwa NSX-D909

950 de puissance 2 X 80 watts (sur 8  $\Omega$ , les deux canaux en service) représente pour moins de 3 000 F l'une des plus belles affaires actuelles, qualité sonore comprise. Sans la très forte concurrence entre marque, de tels produits n'auraient sans doute jamais vu le jour.

Depuis fort longtemps déjà, les audiophiles savent l'importance qu'il faut attribuer aux alimentations. En régime dynamique, toutes formes de bruits et d'instabilités propres à celles-ci ou bien aux variations brutales de consommation des circuits se répercutent sur les performances de mesure et d'écoute.

La solutions des alimentations par batteries est appréciée par les audiophiles depuis fort longtemps déjà mais elle comporte beaucoup d'inconvénients : coût de revient élevé, durée de vie limitée des batteries, autonomie, nécessité d'un contrôle précis du temps de charge et de la profondeur de la décharge, utilisation limitée à des circuits à faible consommation. Plusieurs réalisations avec alimentation par batteries ( pré-préamplificateur, amplificateur classe A le Monstre, etc) ont été décrites dans l'Audiophile. Les marques Lectron (France) Mission (G.B.) Final Audio (Japon) et plus récemment Technics (SU-C7000/SE-A 7000, en 1992), Avant Garde (Suisse 1992) sont d'autres exemples de réalisations visant des performances d'écoute très poussées. Sur sa dernière génération de produits, Technics s'est beaucoup intéressé à la question, sans doute

suite à l'expérience acquise lors de la conception de l'ensemble préampli ampli SU-C7000/SE-A 7000 en 1992. Sur une alimentation classique avec régulateur de tension "ballast" à circuit intégré, le recul de bruit se situe dans la zone des - 80 à -100 dB. Avec des bons composants discrets, le bruit peut reculer vers -120 à -130 dB. Des performances supérieures ne peuvent être obtenues qu'à l'aide de batteries de qualité. On peut alors atteindre les -140 dB à -145 dB en termes de bruit résiduel, pour extra-

ordinaire la quintessence de nouveaux convertisseurs N/A, lecteurs CD et autres maillons audio analogiques. Sur le préamplificateur SU-C 2000 et l'amplificateur SE-A 2000 (figure 2), Technics intègre l'astuce du montage baptisé "batterie virtuelle", qui est censé procurer les avantages offerts par les batteries mais sans les inconvénients cités plus haut. Sur les circuits régulateurs classiques, le régulateur de tension fait appel à une référence de tension appliquée sur la base d'un transistor. Ainsi une partie du bruit généré par l'alimentation avant sa stabilisation vient s'ajouter à celui produit par la diode Zéner servant de référence. En sortie, l'alimentation est stabilisée mais emprunte d'un bruit impossible à atténuer en deçà de -100 dB, en particulier dans le bas du spectre. Technics a résolu ce problème en remplaçant le transistor bipolaire par un transistor MOS-FET. On peut de la sorte contrôler la sortie du circuit en agissant sur le potentiel de gate du MOS-FET, là où contrairement au transistor bipolaire, le courant est pratiquement nul. Dans ces conditions, on peut remplacer la référence de tension à diode Zéner par un condensateur qui fait alors office de batterie, du moins pendant l'écoute. Sur le lecteur CD

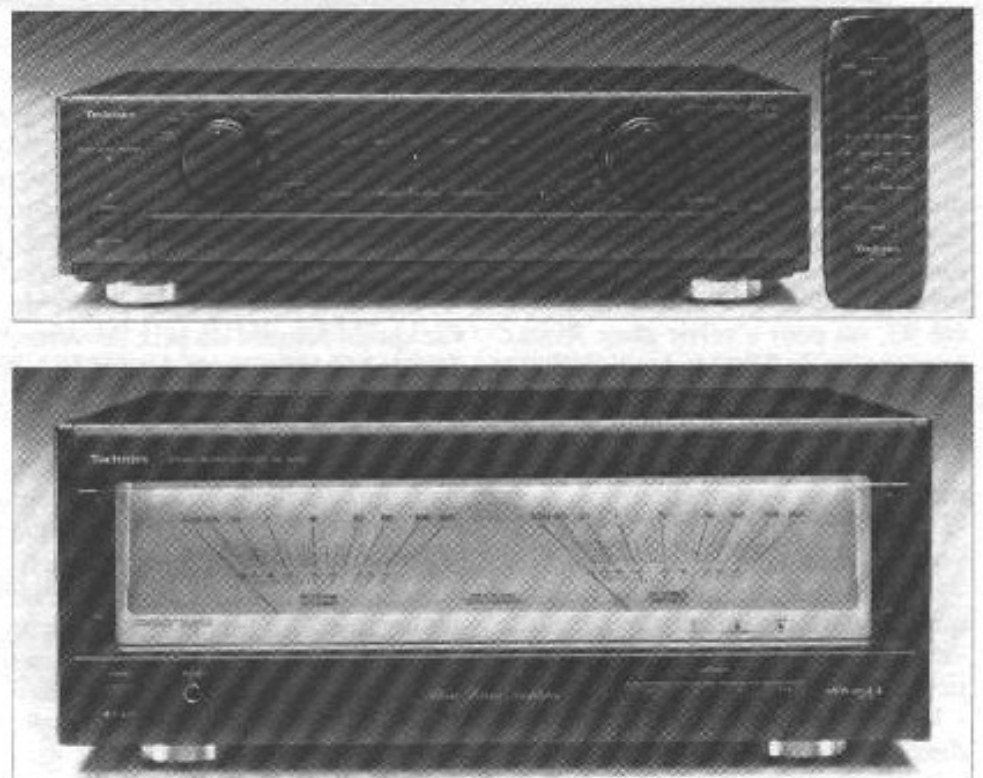


Figure 2 : Nouvelle gamme Technics 2000 équipée du circuit à "batterie virtuelle". Préamplificateur SU-C2000 et amplificateur SE-A2000



Figure 3 : Prototype de caisson grave asservi Technics "ACS"

pourvu de cette amélioration, le SL-P 2000, le condensateur est rechargé dès que l'on passe à un autre mode que celui de lecture (stop, pause, recherche etc.) Sur les amplificateurs et préamplificateurs cela n'est pas possible. La charge du condensateur s'effectue dans ce cas par l'intermédiaire d'une résistance de valeur très élevée, juste suffisante pour maintenir une référence de tension stable. Dans ces conditions, la valeur de la résistance est trop grande pour introduire du bruit parasite aux bornes du condensateur (un modèle à très faibles fuites diélectriques). C'est ce genre d'amélioration sensible, mais à faible coût qui nous fait faire la réflexion : "on aurait du y penser avant". Sur les trois références Technics citées, d'autres améliorations sont moins visibles bien que sensibles à l'écoute : nouveaux types de résistances non selfiques à faible coefficient de température, potentiomètre de volume de très haute qualité à curseur multi-contacts et à piste résistive rotative polie comme un miroir (à noter que l'influence du potentiomètre de volume sur différents paramètres subjectifs est particulièrement marquée), transformateur d'alimentation de type R, à noyau en "O" sans entrefer (l'opération de bobinage s'effectue directement sur le noyau). Ce dernier n'a rien de nouveau mais ses gros avantages sont un faible rayonnement magnétique, très peu de vibrations parasites et un rendement élevé (lié à la suppression de l'entrefer). En comparaison, le transformateur torique, qui semble à priori encore

plus performant a pour éternel défaut des lignes de forces plus resserrées au centre que vers l'extérieur, ce qui génère de la distorsion. En plus, il suffit qu'un enroulement ne soit pas réparti sur 360° pour qu'à l'endroit du secteur manquant se produise une fuite magnétique en forme de faisceau, ce qui est relativement fréquent.

### Prototype de caisson grave Technics ACS

Dès les débuts de l'électroacoustique, les chercheurs ont toujours essayé de contourner les lois, pourtant immuables, de la physique et de l'acoustique. Comme l'avait justement dit M. Naota Iwata, ce spécialiste japonais des pavillons "le progrès ne réduira jamais la longueur d'onde", on a toujours cherché à réduire au mieux les haut-parleurs et charges associées pour la restitution des fréquences graves. On a connu les gigantesques pavillons, les haut-parleurs de très grand diamètre, les principes de charge très variés, les FAS, ASW, tuyaux repliés ou accordés, résonateurs, double résonateurs, charges multiples combinées avec radiateur dit passif. Récemment, on fait appel soit aux techniques numériques, soit aux filtres dit "miroir" (article de Wolfgang Klippel, concernant la réduction de la distorsion des haut-parleurs graves et l'égalisation de la réponse en fréquence, paru en septembre 1992 dans la revue de l'AES). En analogique, il existe un certain nombre de réalisations relativement compactes intégrant ou non l'amplificateur que "l'on a connu chez Onkyo, Sony, Cambridge, Canton, Bose, Boston, Celestion, Denon, Energy, Entec, Essence, Fried, Genesis, Harms Labs, Hartley, Hsu Research, Infinity, Jams, JBL, Jensen, JMR, JS Audio Kenwood, Synthedata, Wharfedale, Yamaha, Wilson Audio, WMPS, Velodyne Acoustics, Triad, Synthesis, Speaker Word Technology, Sound Dynamics, Shahinian Acoustics, Sansui, quintessence Acoustic (et beaucoup d'autres). On y trouve forcément ces inévitables compromis qui impliquent de faire un choix entre plusieurs paramètres non compatibles entre eux. Impossible donc de prétendre être capable d'obtenir à partir d'un

haut-parleur de petit diamètre, 20 cm par exemple et d'une charge de faible volume, à la fois un rendement élevé, un niveau acoustique élevé, très peu de distorsion et l'exploration non atténuée de fréquences aussi basses que 16 Hz. Par exemple, on sait que sur baffle infini, un grand-parleur de 38 cm ou même de 46 cm perd très vite en sensibilité en deçà de 60 à 70 Hz. Au dessous, l'atténuation est en moyenne de l'ordre de 12 dB par octave, ce qui place le niveau sonore du registre 20-30 Hz environ 20 à 35 dB au dessous du niveau moyen obtenu dans la partie plate de la réponse en fréquence du haut-parleur. Ensuite, on est obligé de prendre en considération le fait que la latitude de déplacement, en mode linéaire, de l'équipage mobile est limitée à quelques millimètres au plus. Au delà et en deçà, la suspension ainsi que le circuit magnétique perdent très vite en linéarité et en stabilité. Pour un écart de niveau de 6 dB seulement, la distorsion peut ainsi augmenter de 10 à 15 dB (c'est fréquent) et ce de façon encore plus rapide dès l'on passera à des fréquences d'autant plus basses. L'ensemble de la situation s'aggrave dès que l'on passe du baffle infini à des charges de volume plus raisonnables, de l'ordre de 200 à 500 litres. En deçà, on adopte des volumes qui sont cette fois compatibles non pas avec les lois de l'acoustique mais avec celles des demandes du marché. Il faut alors sacrifier plusieurs paramètres : niveau acoustique maximum, limite de la réponse dans le grave, distorsion, rendement, traînage, linéarité de la réponse en fréquence. Prenons le cas d'un haut-parleur dont l'efficacité est de l'ordre de 90 dB/m/W.

Pour obtenir 110 dB à 1 m, il faut déjà admettre à ses bornes une puissance de 100 W. Or, à 3,50 m des enceintes, le niveau acoustique à 100 Hz ne sera plus que de 96 à 97 dB. A 20 Hz et dans la même situation, on n'aura guère de chance d'obtenir plus de 60 à 70 dB. Ce ne serait pas trop mal s'il ne fallait pas y retrancher encore une perte de sensibilité introduite cette fois par nos oreilles, que l'on peut estimer de 15 à 20 dB, un peu plus encore si l'on se fie aux courbes de correction physiologique de Robinson et Dadson. Le niveau réellement perçu à 20 Hz se situe

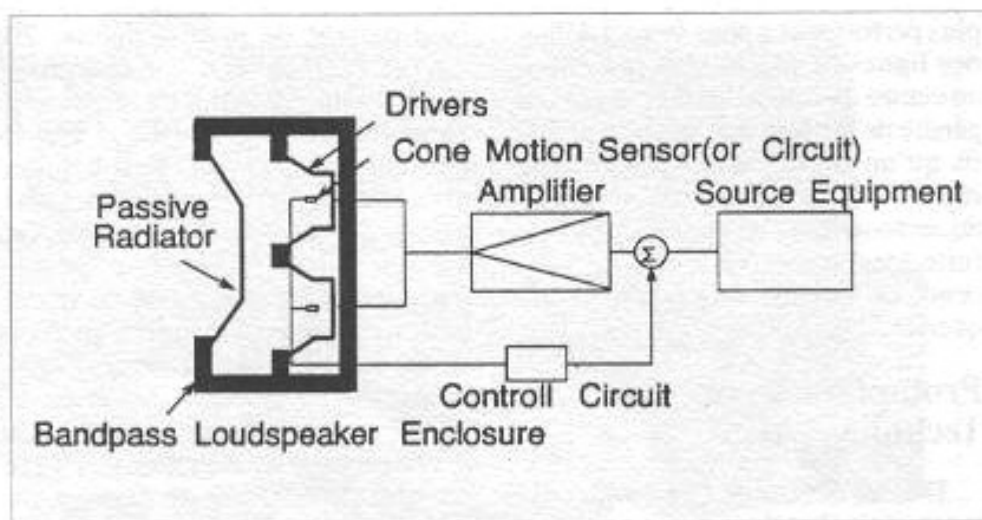


Figure 4 : Schéma synoptique du caisson grave asservi : Technics "ACS"

alors dans les 40 dB, c'est-à-dire une bonne cinquantaine de dB en deçà du niveau sonore moyen. Décevant non ? Pour diverses raisons "d'optimisation", il est fort rare qu'un caisson grave puisse traduire sous un niveau sonore "utilisable" et sans aucune atténuation toute la bande de 16 Hz à 100 Hz. En général, le caisson grave "optimisé" transcrit le maximum d'énergie dans la bande comprise entre 50 et 70 Hz, là où quelquefois les enceintes en font parfois de trop, à cause du local par exemple. Dans ce cas, pas vraiment rare malheureusement, on s'aperçoit avec tristesse, que moins le caisson grave produit de son, meilleur est le résultat et que dans tous les cas, l'extrême grave est toujours aussi discret, pour ne pas dire inexistant.

Le caisson grave actif que propose Technics est un prototype. Sa date de commercialisation n'a pas encore été fixée. Il combine deux systèmes connus : l'asservissement avec un capteur de vélocité et les charges couplées avec radiateur dit "passif" qui fonctionnent selon le principe appelé passe bande. Les systèmes à asservissement ont été créés pratiquement par centaines. Ceux à cavités accordés à radiateur "passif" sont nombreux aussi. Une excellente approche est sans doute celle conçue par Onkyo avec le SL-10 (1984) : haut-parleur de 21 cm en petit volume clos, à suspension acoustique chargeant un volume accordé ainsi qu'un radiateur passif. Sur son prototype, Technics semble d'inspirer de cette idée, mais y apportant plusieurs améliorations.

La première est une meilleure

admissibilité en puissance obtenue en répartissant celle-ci sur quatre haut-parleurs de 18 cm au lieu d'un seul de 21 cm. En plus, Technics remplace le radiateur passif de 25 à 30 cm en moyenne par un modèle plus imposant de diamètre 38 cm. L'ensemble parvient malgré tout à être logé dans un caisson aux dimensions raisonnables : hauteur 44 cm, largeur 44 cm également et profondeur 22 cm. Le tout ne pèse que 16 kg, ce qui est peu par rapport aux performances annoncées : une réponse niveau/fréquence quasi-droite à -3dB près entre 18 Hz et 80 Hz. Ce système "ACS" Technics (Active Air Coupling System) est représenté sur la figure 3. Sur ce prototype, l'amplificateur d'asservissement était placé à l'extérieur mais son intégration à l'intérieur du coffret est tout à fait possible. On aperçoit en façade le grand radiateur passif (membrane à base de fibres composites cellulose-carbone) avec une masse centrale dont l'optimisation de la valeur est assez "pointue".

La figure 4 représente le schéma synoptique du système ACS avec la double charge, le radiateur passif frontal, la première cavité accordée, les 4 haut-parleurs de 18 cm, les 4 capteurs reliés au circuit d'asservissement, la cavité arrière close qui fait également office de suspension acoustique. A l'extérieur de l'enceinte, l'amplificateur d'asservissement et son module de contrôle.

Bien que la date de commercialisation de ce caisson grave actif Technics ACS ne soit pas encore fixée, un prototype a pu être écouté lors du dernier Séminaire Technics qui a eu lieu en Allemagne, à

Wiesbaden, le 19 mai dernier. Un caisson grave parfaitement optimisé et réglé en fonction de la nature acoustique du local et des enceintes ne doit jamais produire contrairement aux opinions généralement admises, de sensation de son lourd et pesant. L'addition du registre de sous-grave manquant doit produire seulement une sensation d'air, d'espace et transcrire sans modification sensible de timbre ni perte de linéarité les fréquences audibles les plus basses. Quelquefois, une prise de son peut laisser passer des bruits de très basse fréquence : bruit d'estrade, déplacement d'air, bruit d'un système d'air conditionné. Dans le cas où la source ne contient que très peu d'informations dans ce registre, l'ajout du caisson grave doit passer pratiquement inaperçu. Quant au prototype Technics, l'écoute de deux disques, la symphonie N°3 de St Saens (Philips PH CP-3610) puis de la Gaité Parisienne d'Offenbach (Telarc CD-80294) a fait de ce dernier un complément indispensable capable de transcrire intégralement ce genre de musique. Pas de miracle donc, mais seulement une parfaite optimisation centrée sur la recherche d'un encombrement réduit. D'après Technics, on obtiendrait ainsi des performances équivalentes à celles d'un caisson grave de 210 litres. Technics précise qu'une paire de caissons graves ACS est nécessaire en stéréo. Aux fréquences très basses, un niveau acoustique raisonnablement élevé ne peut s'obtenir qu'à partir de surfaces rayonnantes importantes, soit à partir de surfaces plus réduites, mais dont l'amplitude de déplacement plus importante est parfaitement contrôlée. Ici, un signal proportionnel au déplacement des membranes des haut-parleurs est appliqué dans le circuit d'asservissement. En optimisant le taux d'asservissement, on peut réduire le volume de la charge citée jusqu'à 27 litres, ce qui place la coupure basse à 18 Hz.

Mais n'oublions pas que les concurrents sont là, même s'ils ne sont pas forcément disponibles en France. En voici quelques uns : JBL 4748 A, Kenwood SW-CX 1, Onkyo SL-10, Sony SA-W3, Mitsubishi Diatone DS-W461, Bose AWCS-1, Snell Sub 750.





Figure 5 : Baladeur DCC portable Panasonic, (compatible cassettes audio standard), modèle RQ-DP7, dont la commercialisation est prévue en septembre 1993

## DCC Portable

La prudence des industriels de la haute fidélité face à la parution du nouveau format DCC s'est remarquée sous la forme de timides apparitions de prototypes puis enfin de la commercialisation d'un ou deux modèles de salon destinés en partie à tester le marché. Pour beaucoup d'utilisateurs, les nouveaux formats tels que DCC ou MD ont un avenir certain, mais ils présentent pour le moment et dans l'attente d'une vulgarisation à grande échelle divers inconvénients : obligation de conserver les formats actuels pour des questions de compatibilité, de soft, prix relativement élevé des cassettes vierges et du matériel, catalogue de supports pré-enregistrés encore trop limité. Souvent, on se demande pourquoi un baladeur DCC n'a pas été mis en vente lors de la lancée du format. Il semblerait d'une part que le prix des têtes (monolithiques à effet Hall) ait été sous-estimé, qu'ensuite il aurait été très difficile de commercialiser un appareil de ce genre à un prix réaliste et que d'autre part il aurait été difficile de réaliser avec les composants actifs disponibles à l'époque un appareil dont l'autonomie aurait été suffisante. Il est fréquent à ce sujet de rencontrer divers appareils portables qui font usage de deux ou quatre piles 1,5 V de type AA ou AAA (LR-6 ou R03). Leur autonomie peut varier entre 30 minutes (température basse, appareils

comportant des moteurs asservis, des afficheurs lumineux etc) et plus de 48 h (certaines radio portables). Neuves, les piles délivrent en général un peu plus de 1,5 V, soit 1,62 V environ, ce qui leur laisse une certaine latitude jusqu'au point de "décrochage" des circuits (en moyenne 1 à 1,1 V par pile 1,5 V). On a du faire au moins une fois à ce sujet la triste expérience du remplacement des piles par des batteries rechargeables, sans penser que le standard n'est plus 1,5 V mais 1,25 V seulement, soit 2,5 V pour deux éléments montés en série. De quoi faire passer l'autonomie déjà courte, une heure par exemple, d'un portable X à 30 minutes seulement et même à dix minutes seulement en plein hiver. Dans l'attente de trouver d'autres technologies de piles, encore plus compactes et performantes, plusieurs constructeurs se sont orientés vers la solution des batteries rechargeables d'un standard nouveau. Celle du lecteur DCC portable Panasonic RQ-DP7 par exemple est une version 4,8 V qui assure une autonomie de plus de 2 heures 30. Cet appareil (figure 5) est non seulement portable mais également léger (490 g), compact (12 x 3,5 x 11,8) et très complet : lecture des cassettes DCC ainsi que des cassettes compactes (analogiques) de type métal, normal et chrome, sortie numérique optique, sortie 1 V et casque. C'est, en plus, un appareil particulièrement résistant

aux vibrations, un critère tout à fait essentiel pour baladeurs et portables.

Un tour d'horizon très rapide sur d'autres nouveautés. Dans le très haut de gamme des lecteurs CD, l'ensemble Denon DP-S1 et son convertisseur DA-S1 sont à classer parmi les meilleurs conçus jusqu'ici. Il utilise un nouveau type d'algorithme appelé Alpha. En tuner numérique pour réception satellite, le Grundig DSR-200 (il peut capter 16 chaînes musicales allemandes avec une qualité très proche de celle du CD) Le "Power CD" de Apple, disponible aux USA pour 500 dollars seulement (il lit les disques CD audio, CD photo et s'utilise en plus en tant que CD ROM en association avec un ordinateur Mac Intosh). L'atténuateur Luxman AT-300 (disponible au Japon) à 26 plots sur transformateur audio (contrairement aux systèmes à résistances ou à potentiomètre calibré,) incluant 5 entrées haut niveau, dont le prix au Japon est à la hauteur de ses performances (plus de 10 000 F). En M.D, le Sanyo MDG-P1, un baladeur pour format minidisque (proposé au Japon au prix de 62 000 yens, soit environ 2 600 F). En cellules phonoelectriques à bobine mobile, des constructeurs persistent dans ce créneau qui ne semble pas encore prêt à disparaître, en commercialisant des versions de très haut niveau. Denon DL-QS1 et transformateur AU-QS1, Dynavector Karat 17 D2 MK II, EMT HSD-6, Ortofon MC 30 Supreme. Chez Nakamichi, un retour en force vers le magétocassette de salon 3 têtes de qualité, qui vient d'être commercialisé au Japon sous la référence DR-1, au prix de 4 800 F environ. Terminons pour signaler encore qu'Accuphase vient de commercialiser au Japon un amplificateur stéréo pure Classe A de 2 x 50 W (sur 8 ohms) à étages de sortie MOS-FET, le A-50.

A suivre

## Erratum

- Article Théorie Alain Deraedt.  
Les haut-parleurs (suite et fin) N°24  
Chapitre IV page 16 (7° ligne)  
 $\Delta P + kP$   
page 18 -T.D.C. de forme plane...  
(11° ligne)

$$\left[ \delta \frac{\sin(k\delta/2)}{k\delta/2} + \frac{i}{k} \left( \frac{-ik \left( \frac{r^2 + \delta^2/4 - d\delta}{\sqrt{C^2 - d\delta} + d} \right)}{e} \right) \right]$$

**Page non  
disponible**

# PAR DELA LES LIMITES DE LA MESURE



*Héphaïstos*

*I ne faut pas dire : Fontaine, je ne boirai jamais de ton eau !"*  
*se diront avec ironie certains lecteurs. En effet, après avoir moult fois fustigé dans ces colonnes les mesures traditionnelles de distorsion et ceux qui cherchent à en accroître inutilement la précision, je viens aujourd'hui me plaindre des limites de leur résolution.*

*Mais la contradiction est moindre qu'il n'y paraît : les mesures traditionnelles ne mesurent qu'un aspect des distorsions, avec une précision qui peut sembler dérisoire quand on considère ce qu'elles ne savent pas mesurer. Mais une fois réglé le problème de stabilité de la distorsion, il peut être intéressant de vouloir mesurer jusqu'au bout la distorsion avec les mesures traditionnelles en sachant que les limites exactes de la sensibilité de notre oreille n'ont pas encore été bien cernées. Mais nous envisageons déjà de rouvrir bientôt le débat de la mesure avec quelques réalisations nouvelles.*

Nous vous présentons ici le second épisode de notre nouvelle étude consacrée aux filtres d'enceinte acoustique. Dans le n° 22 (nouvelle série) de *L'Audiophile*, nous avons, dans un article au titre volontairement provocateur - "Faut-il brûler Fourier ?" - commencé à traiter ce nouveau problème en considérant surtout... ce qu'il ne fallait pas faire ! Aujourd'hui, nous serons plus positifs en examinant les premiers moyens que nous nous sommes donnés pour cette étude : d'abord les moyens électroniques qui doivent être suffisamment bons pour ne pas limiter

la portée de nos expérimentations. Nous verrons donc, dans cet article, la nouvelle mouture de notre amplificateur, ainsi qu'un circuit bas niveau basé sur le même principe. A cette occasion, nous expliquerons les problèmes de mesure que nous avons rencontrés et nous verrons comment nous comptons les traiter dans le futur.

Pour une étude comme celle que nous nous proposons de réaliser pour les filtres d'enceinte acoustique, il faut principalement une méthode, des moyens matériels et des moyens humains. En ce qui concerne la méthode, même si nous

avons déjà une forte volonté de rigueur et d'exhaustivité, nous n'avons actuellement qu'une vague idée de ce que nous pensons faire et il est à craindre que nous n'aurons une vue globale et synthétique sur notre méthode qu'à la fin de nos recherches, quand nous saurons ce qu'il fallait trouver. Nous sommes comme un explorateur devant un territoire marqué "Terra Incognita" sur sa carte : comme lui nous allons partir dans une direction et puis infléchir notre route en fonction des découvertes, des difficultés rencontrées et, quand le terrain sera balisé, nous saurons enfin ce qu'il

fallait faire pour trouver avec rigueur et au plus vite ce que nous aurons découvert.

Pour ce qui est des moyens humains nous comptons, bien entendu, sur les oreilles complices et compétentes de l'équipe de *L'Audiophile* ; elles ont déjà fort utilement orienté nos études d'amplificateur, dans une direction dont nous n'avons compris tout l'intérêt qu'après coup ; elles devraient donc nous être encore d'un grand secours pour cette nouvelle étude.

Les moyens matériels sont également très importants : la figure n° 1 nous montre les éléments physiques d'un essai typique de ceux que nous ferons au cours de cette étude ; analysons-en les éléments. La source d'information sonore sera constituée du lecteur de CD et des CD habituellement utilisés par l'équipe de *L'Audiophile* ; ce sont des références familières qu'ils connaissent bien. Les filtres actifs (choix que nous avons expliqué dans notre article précédent) font l'objet de cette étude ; ils seront donc conçus et réalisés par nos soins et nous verrons un peu plus loin l'amplificateur opérationnel qui sera la brique de base de ces filtres et de tous les circuits bas niveau de cette étude.

Les amplificateurs de puissance me semblent être un point essentiel de cette étude (comme ils sont un point essentiel de toute chaîne de reproduction sonore) : en effet, dans les systèmes à multi-amplification, on constate souvent qu'on sait obtenir un bon équilibre entre les différentes voies à un niveau sonore donné, mais, qu'en fonction de la dynamique le bel équilibre est quelque peu malmené ("on a un peu l'impression que cela part dans tous les sens"). Une explication de ce phénomène pourrait être liée aux amplificateurs de puissance : en effet, le niveau subjectif n'est pas directement lié à la puissance sonore ; pour estimer un niveau sonore, notre système perceptif prend aussi en compte d'autres para-

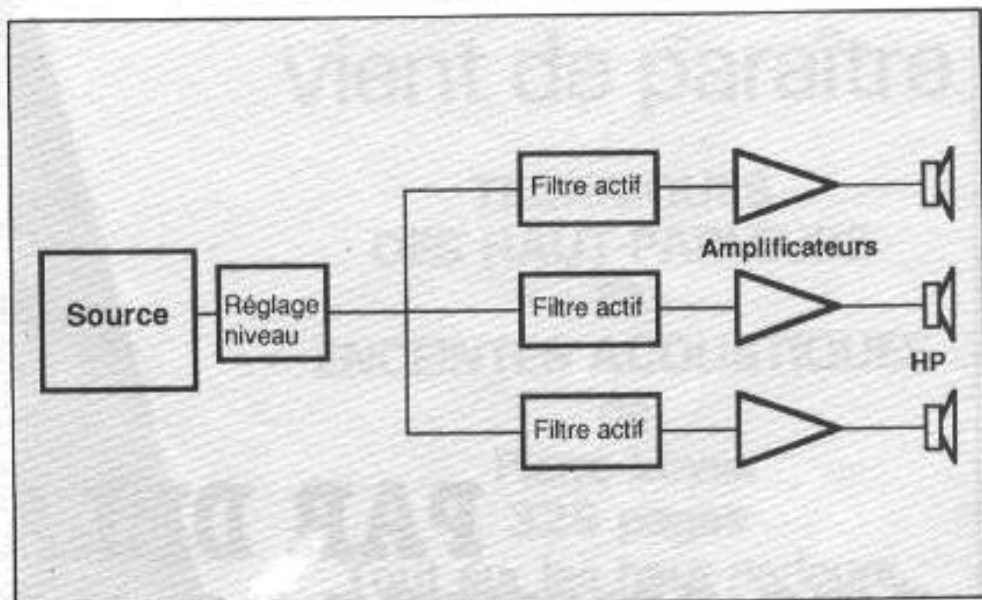


Fig. 1 : Schéma de l'installation d'essai.

mètres, dont les déformations (et, parmi elles, les distorsions) des signaux reçus. Ces déformations peuvent provenir de nos propres oreilles ou du système générateur de son (source directe ou enregistrement et chaîne de reproduction électroacoustique) et sont intégrées par apprentissage dans notre système perceptif, sans que nous en ayons forcément conscience. Dans le cas d'un système de reproduction mono-amplifié, l'ensemble du spectre sonore est amplifié par le même amplificateur ; cela conduit à une certaine homogénéité dans les distorsions. Dans le cas de la multi-amplification, le spectre sonore est partagé entre plusieurs amplificateurs qui sont amenés à travailler sur des signaux différents à des niveaux relatifs variables en fonction de la nature des sons reproduits ; il ne peut qu'en résulter des natures et des niveaux de distorsion divergents, d'où une certaine disparité dans les échelles de dynamique subjective liées à chaque voie. Cette explication me semble séduisante mais elle demande à être vérifiée. Pour cela, il faudrait des amplificateurs... sans distorsion !

A défaut de cet idéal théorique, il nous faut donc pour cette étude des électroniques sinon parfaites, du moins présentant le moins de défauts possible. Nous avons donc

retenu comme amplificateur le meilleur que nous ayons à notre disposition : la nouvelle mouture de l'amplificateur de notre étude précédente. Vous vous souvenez peut-être que, dans le n° 16 (nouvelle série) de *L'Audiophile*, nous vous avons présenté les essais d'un amplificateur expérimental ; un monstre dans lequel nous n'avons économisé ni le poids, ni le volume, ni le nombre de composants. On nous a rapporté que sa démesure avait fait sourire certains dans la profession, mais nous avons alors estimé notre but atteint en considérant les résultats des mesures et des tests subjectifs. Depuis, nous avons entrepris une étude d'industrialisation de cet amplificateur, en cherchant à préserver sinon à améliorer ses qualités métrologiques et subjectives tout en réduisant ses handicaps industriels (le poids, le volume et le nombre de composants) à des valeurs compatibles d'une fabrication à un coût modéré. Cette étude, qui n'a pas sa place dans une revue comme *L'Audiophile*, vient d'aboutir à une première étape très satisfaisante : une version bien plus raisonnable de notre amplificateur a ainsi été réalisée et nos objectifs d'amélioration ont même été atteints. C'est donc cet amplificateur (en plusieurs exemplaires) que nous comptons

utiliser pour les essais de cette nouvelle étude. C'est pourquoi il vous est présenté ici. Une prochaine version encore plus intégrée (donc moins chère à produire), mais avec probablement encore une nouvelle amélioration technique (vraiment audible ???) est en préparation.

## L'amplificateur de puissance

Examinons notre petit dernier : par rapport à son aîné, il fait vraiment petit (voir la photographie de la figure n° 2) : hauteur 9 cm, largeur 35,5 cm, profondeur 37 cm. Son poids (6,2 kg) est bien loin des quelques 35 kg du premier amplificateur et ne saurait rassurer certains audiophiles simplistes qui pensent que la solidité du son est liée à la masse des électroniques.

Les étages de sortie fonctionnent avec un courant de repos de 180 mA, soit dans une classe AB raisonnable. La puissance de sortie est limitée par la tension maximale de sortie (écrêtage lié aux tensions d'alimentation) qui vaut  $\pm 22$  V et par le courant maximal (limité électroniquement) de 4 A. La puissance maximale vaut donc 30,3 W pour une charge de 8  $\Omega$ , 40,3 W pour une charge de 6  $\Omega$  et 32 W pour une charge de 4  $\Omega$  ; l'amplificateur est donc de la classe des 30/40 W. Cela devrait être suffisant pour les voies médium et les voies aiguës, mais pourrait peut-être ne pas suffire pour les voies graves qui sont voraces en puissance. Nous envisageons donc une version un peu gonflée (de la classe des 100 W) pour les voies graves.

La photographie de la figure n° 3 nous montre la disposition interne adoptée pour le prototype de la nouvelle version : l'espace intérieur est cloisonné par des blindages en quatre compartiments qui assurent les fonctions suivantes :

- Un compartiment frontal recèle une alimentation qui comprend principalement un filtre d'entrée, un transformateur de type torique,

des ponts de redressement et des capacités de filtrage. Elle délivre deux paires de tensions simplement filtrées de +30 V et -30 V (forte puissance) et de +40 V et -40 V (faible puissance pour les circuits driver). Les tensions de +40 V et -40 V sont régulées en aval, près de leur utilisation, par un circuit extrêmement simple à base de diode Zener et de transistor série.

- Le compartiment médian accueille deux circuits d'interface adaptateurs d'impédance et un po-

tentiomètre double.

- Les deux circuits imprimés des deux amplificateurs proprement dits sont situés de part et d'autre avec leurs radiateurs respectifs.

Pour concevoir le circuit amplificateur nous nous sommes livrés à une étude approfondie du monstre, afin de bien cerner les raisons techniques de ses performances métrologiques et subjectives. Nous en avons déduit une structure globale d'amplificateur qui, avec ses trois étages, est finalement assez proche

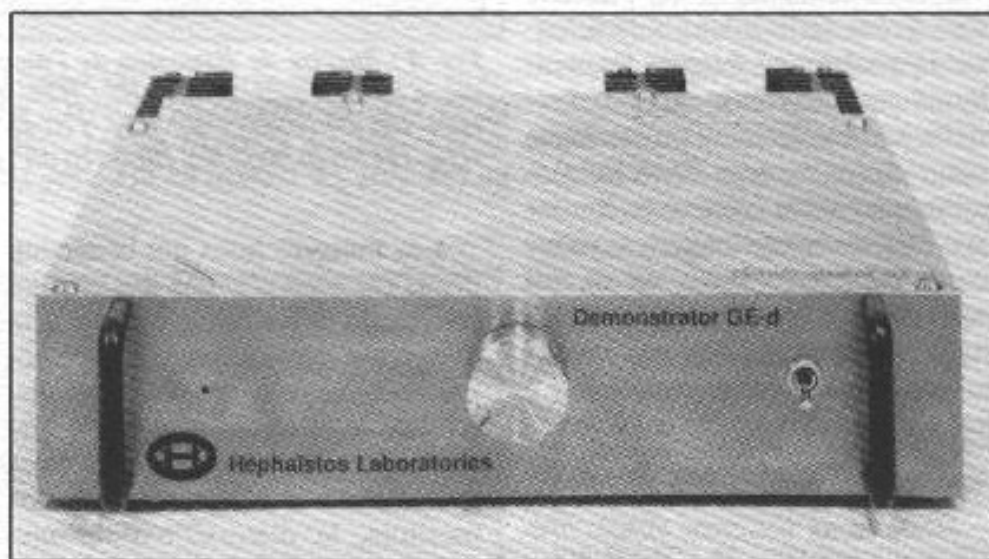


Fig. 2 : Nouvelle mouture de notre amplificateur.

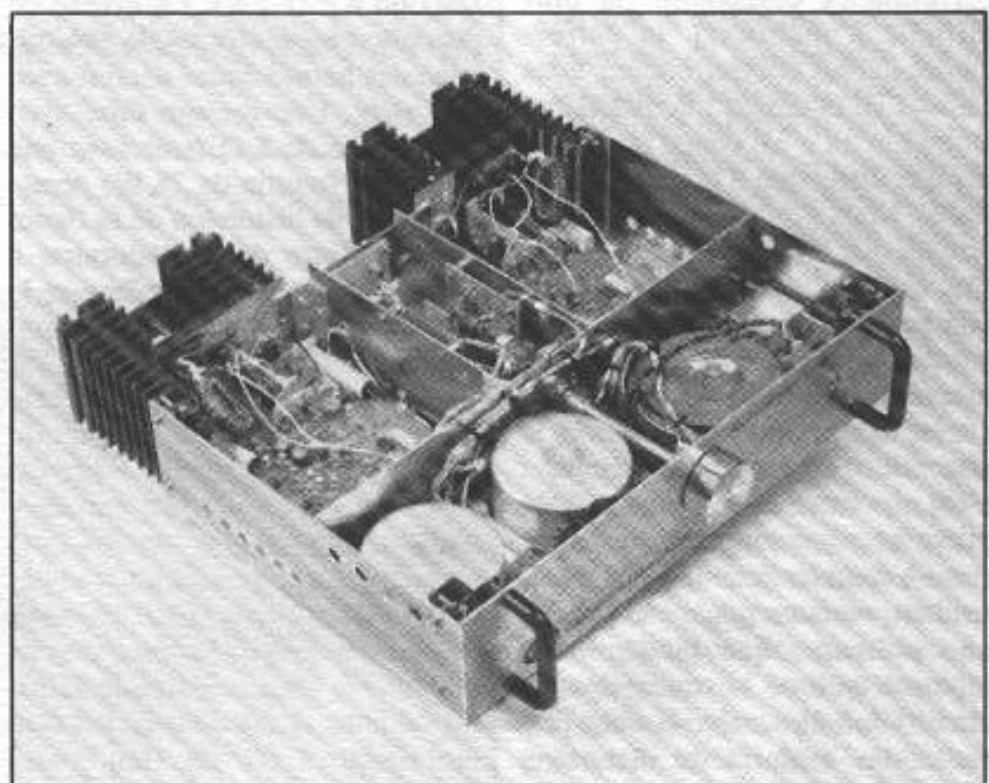


Fig. 3 : Disposition interne de l'amplificateur.

de celle de l'amplificateur décrit par Jan Lohstroh et Matti Ojala dans "An Audio Power Amplifier for Ultimate Quality Requirement" (*IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, vol. AU-21 n° 6 de décembre 1973), mais avec quelques petites différences qui changent un peu les résultats ; tout d'abord, contrairement aux théories de Matti Ojala, nous avons cherché à maximiser le taux de contre-réaction global (nous avons ainsi réussi à obtenir 94 dB de contre-réaction dans toute la bande audio) ; ensuite nous avons utilisé deux fois le circuit Héphaïstos n° 4 (après lui avoir donné une structure plus industrielle particulièrement propre à une intégration - du type CMS ou monolithique) enfin (pour nous limiter aux différences principales), nous avons adopté en sortie un circuit issu de nos recherches sur les étages de sortie dont nous vous avons longuement entretenu il y a fort longtemps dans ces colonnes.

## Ses performances

Nous nous sommes volontairement limités, dans la description des performances obtenues, à la performance essentielle (la plus difficile à maîtriser), la performance la plus critique comme nous l'avons vu ci-dessus : la distorsion. Notre circuit a été conçu pour donner une distorsion à la fois faible et stable. Nous avons vu dans d'autres articles que la stabilité de la distorsion est souvent un paramètre oublié par les concepteurs (mais pas par nos oreilles). Les appareils de mesure de distorsion sont, hélas, encore conçus pour ne mesurer la distorsion qu'en régime établi ; c'est une carence qui nous semble grave et nous songeons sérieusement à combler cette lacune. En attendant, nous ne pouvons donc ici que prétendre que la distorsion (compte tenu de la conception du circuit) doit être stable et vous présenter les mesures de distorsion classiques, c'est-à-dire en régime établi sur des sinusoïdes.

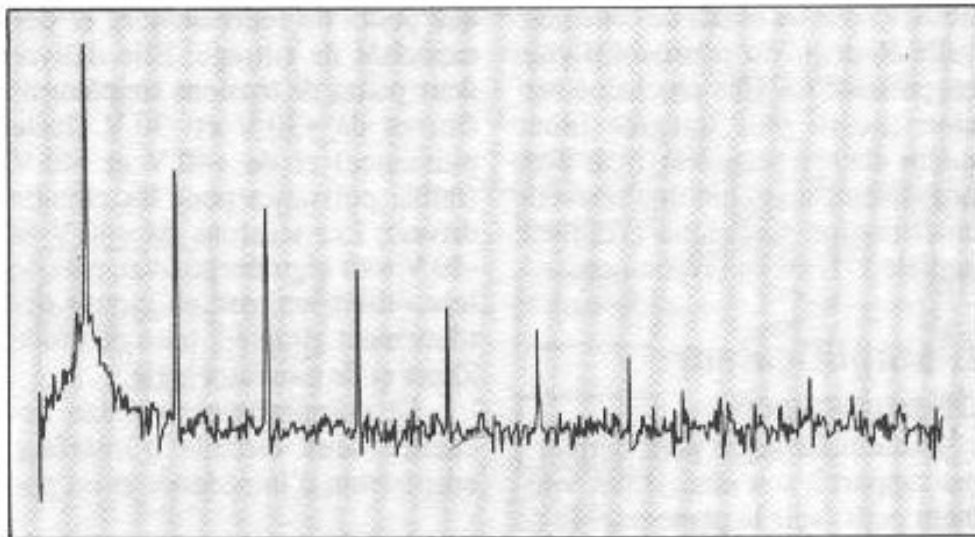


Fig. 4 : Spectre de distorsion de l'amplificateur sans charge pour un signal de sortie de 15 V efficace à 1 kHz : H2=-92 dB (0,0025 %), H3=-97 dB (0,0014 %), H4=-106 dB (0,0005 %), H5=-110 dB (0,00032 %), H6=-112 dB (0,00025 %), H7=-114 dB (0,0002 %), H8<-120 dB (< 0,0001 %), H9=-118 dB (0,00013 %).

Ces mesures nous ont beaucoup déçus car nous n'avons pas bien vu les résultats de notre chasse à la distorsion ; mais jugez-en plutôt par vous-mêmes : le spectre de distorsion de la figure n° 4 et l'oscillogramme de la figure n° 5 nous montrent un résultat typique de nos mesures, la distorsion pour une voie sans charge à un niveau voisin de la saturation (15 V efficace correspond à  $\pm 21,2$  V). Le niveau de distorsion est plutôt faible et le niveau des harmoniques décroît avec leur rang. Une mesure faite avec une charge de 8  $\Omega$  (soit avec une puissance fournie de 28 W) donne le spectre de distorsion de la figure n° 6. L'allure de la distorsion à l'oscilloscope reste la même et le niveau des cinq premiers harmoniques n'est pratiquement pas modifié par la charge : on ne décèle une différence qu'à partir du sixième harmonique H7 (-116 dB au lieu de -120 dB). On est alors tenté de commencer un discours classique sur la génération, par des circuits de sortie ne travaillant pas en pure classe A, d'harmoniques de rang élevé. Mais une simple vérification nous arrête dans ce bel élan moralisateur (et un rien gnan-gnan) : la mesure de la distorsion du signal de test fourni par le dis-

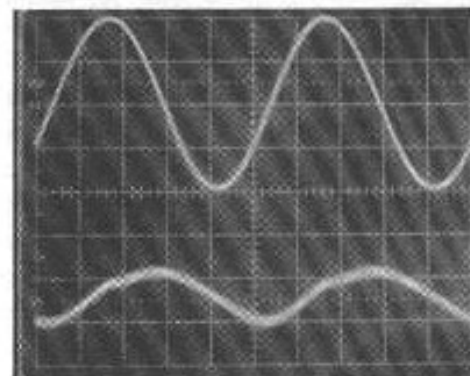


Fig. 5 : Signal de sortie (en haut, 10 V/div.) et distorsion de l'amplificateur sans charge pour un signal de sortie de 15 V efficace à 1 kHz (horizontalement : 0,2 ms/div.).

torsiomètre, représentée sur la figure n° 7. Nous retrouvons pratiquement le même spectre de distorsion, ce qui est confirmé par l'oscillogramme de la distorsion. On retrouve donc en sortie de notre amplificateur... la distorsion du signal de test qui est injecté à son entrée ! Cette constatation nous a amenés à remettre en cause nos mesures de distorsion.

Pour ces mesures, nous utilisons un distorsiomètre HP 339 du très célèbre fabricant d'appareils de mesure Hewlett-Packard (voir la figure n° 8). C'est un appareil qui a une bonne réputation et nous avons jusqu'ici tendance à lui faire

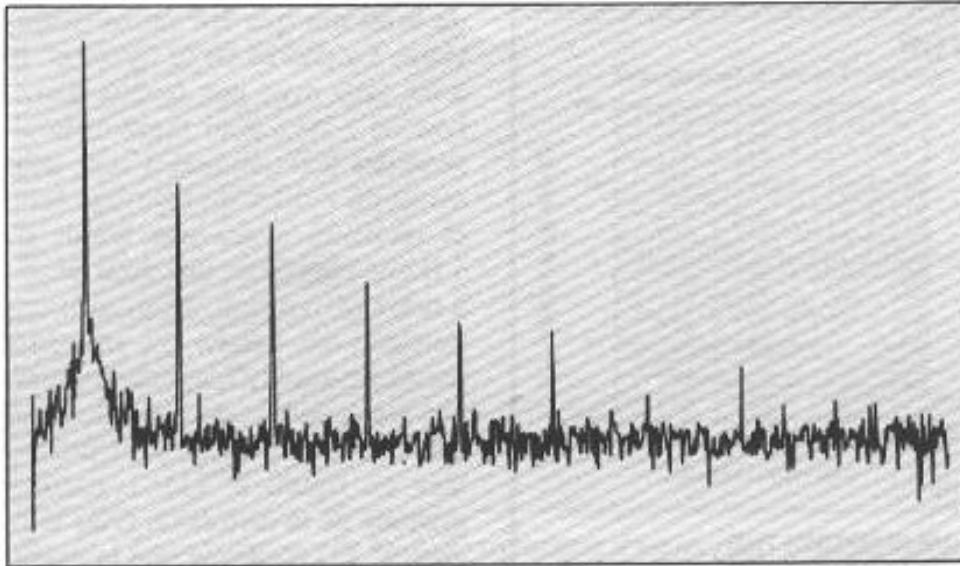


Fig 6 : Spectre de distortion de l'amplificateur sur une charge de  $8 \Omega$  pour un signal de sortie de 15 V efficace à 1 kHz : H2=-92 dB (0,0025 %), H3=-96 dB (0,0016 %), H4=-106 dB (0,0005 %), H5=-111 dB (0,00028 %), H6=-112 dB (0,00025 %), H7 < -120 dB (< 0,0001 %), H8=-114 dB (0,0002 %), H9=-115 dB (0,00018 %).

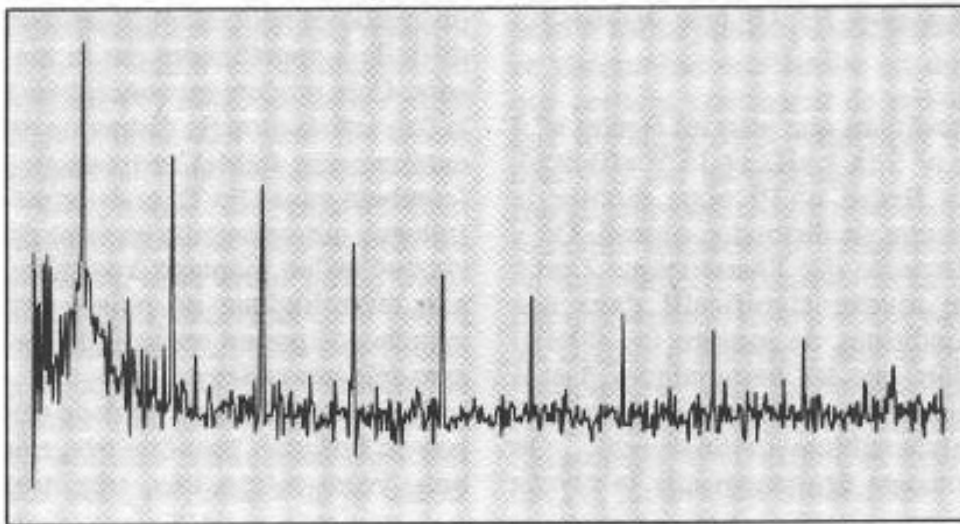
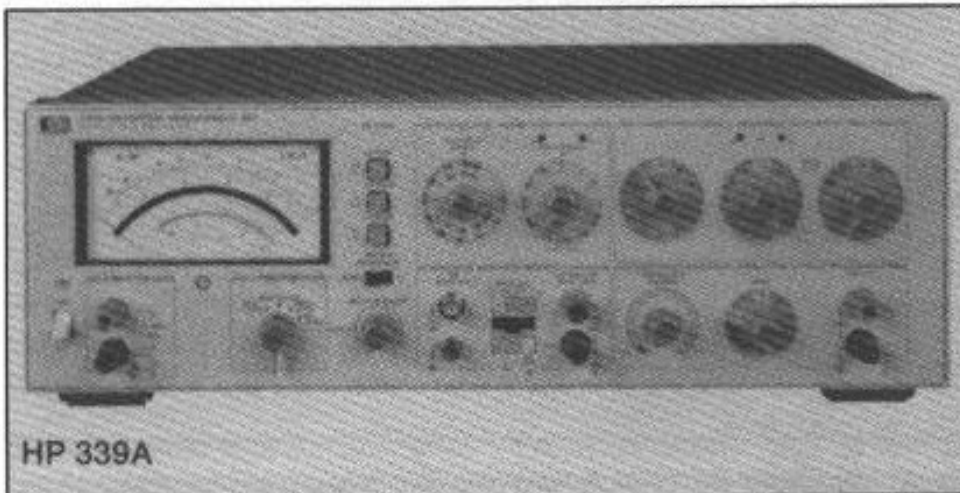


Fig. 7 : Spectre de distortion de l'oscillateur utilisé pour les mesures des figures nos 4, 5 et 6;



Fig; 8 : Distorsiomètre HP 339.

une confiance aveugle. L'examen des spécifications du constructeur (voir la figure n° 9) est très intéressant : il nous montre que, pour l'oscillateur de test, notre équipement est très légèrement en dehors de ses spécifications et qu'il a besoin d'une petite révision. Néanmoins, nous sommes au-delà des limites de mesure de cet équipement : la similitude des premiers harmoniques indique que la distortion correspondant à ces harmoniques doit être au moins d'un ordre de grandeur inférieur au chiffre de la distortion injectée en entrée et présente en sortie ; ces distortions sont donc au plus de la classe des -100 dB (soit moins de 0,001 % de distortion). L'effet de la charge sur les harmoniques supérieurs est probablement très faible, mais au niveau auquel il se situe (entre -110 dB et -120 dB), compte tenu des spécifications du distorsiomètre, il est difficile à analyser.

Indépendamment de la révision à venir de notre distorsiomètre, nous en avons systématiquement exploré les limites en rebouclant directement la sortie de l'oscillateur de test sur l'entrée de mesure de distortion, à différents niveaux, et en essayant de comprendre les phénomènes observés. Il semble que la principale limite à la précision des mesures réside dans l'oscillateur et que la distortion de base provienne de l'oscillateur interne (nous reviendrons sur ce point un peu plus loin).

Cet oscillateur attaque un amplificateur de sortie à travers un potentiomètre permettant le réglage continu du niveau de sortie. Un atténuateur à plots en sortie permet de régler le niveau fourni par pas de 10 dB. La distortion en sortie varie très légèrement avec le niveau fourni ou, pour être plus exact, avec la position du bouton de réglage continu du niveau (qui définit le niveau de travail de l'amplificateur de sortie), indépendamment de la position de l'atténuateur à plots qui

## OSCILLATOR

### Frequency Accuracy:

$\pm 2\%$  of selected frequency (with FREQUENCY VERNIER in CAL position).

### Level Flatness:

20 Hz to 20 kHz     $\pm 0.1$  dB  
10 Hz to 110 kHz    $\pm 0.2$  dB

### Distortion ( $\geq 600 \Omega$ load, $\leq 3$ V output):

10 Hz to 20 kHz     $< -95$  dB (0.0018%) THD  
20 kHz to 30 kHz    $< -85$  dB (0.0056%) THD  
30 kHz to 50 kHz    $< -80$  dB (0.01%) THD  
50 kHz to 110 kHz   $< -70$  dB (0.032%) THD

### Output Resistance:

$600 \Omega \pm 5\%$

Fig. 9 : Extrait des spécifications du distorsiomètre HP 339 (doc. Hewlett-Packard).

ne semble pas jouer sur la distorsion.

D'autre part, il semble que les circuits d'entrée du distorsiomètre génèrent aussi leurs propres distorsions et que le niveau d'entrée joue sur la valeur de ces distorsions ; mais comme ces distorsions semblent être d'un ordre de grandeur inférieur à la distorsion du générateur de test, elles sont plutôt difficiles à analyser.

Pour revenir à notre amplificateur, on peut faire le même type de constat d'impossibilité de mesure significative, à d'autres fréquences et pour différents niveaux ; nous vous avons donc épargné une longue litanie de spectres de distorsion peu pertinents. Seule la saturation permet d'observer une distorsion présentable avec nos moyens de mesure, mais vous comprendrez bien que l'intérêt de sa publication est des plus discutables dans une revue du niveau de *L'Audiophile* ! Une autre façon de déceler la distorsion peut être de faire des mesures en boucle ouverte. Nous avons donc ouvert la boucle et refait des mesures dans les mêmes

conditions que pour les figures n° 4 et n° 5 (à 1 kHz et 15 V efficace). La figure n° 10 nous montre le spectre de distorsion obtenu. On y remarque que l'harmonique 2 est à un niveau significatif dans nos conditions de mesure ( $> -90$  dB) alors que les harmoniques 3 et 4 sont déjà aux limites de ce qui est raisonnablement analysable. On constate également que le niveau

de bruit masque les autres distorsions. La courbe de la figure n° 10 a été faite avec une fenêtre d'analyse de 3 Hz ; pour mesurer le niveau des harmoniques 3 et 4, nous avons dû utiliser un balayage local et un filtre ayant une bande de 1 Hz, le plus étroit que nous avons à notre disposition. Nous utilisons pourtant en entrée un transistor parmi les moins bruyants du marché (les courbes de bruit données par son constructeur sont présentées en figure n° 11). L'oscillogramme de la distorsion (voir la figure n° 12) confirme que la distorsion du montage en boucle ouverte est pratiquement noyée dans le bruit. Le branchement d'une charge de  $8 \Omega$  ne modifie pas le niveau des harmoniques 2 et 3 et fait remonter l'harmonique 4 à  $-98$  dB. Bref, la distorsion de notre amplificateur est difficile à appréhender par la mesure. Cela procure au concepteur à la fois satisfaction (la distorsion est extrêmement faible) et frustration (combien vaut-elle ?), mais le métrologue qui sommeille en nous est choqué qu'un montage à vocation non métrologique ne puisse être appréhendé par un appareil de mesure déjà très sérieux.

Notre amplificateur est donc très bon en linéarité, peut-être très, très bon, voire même très, très, très

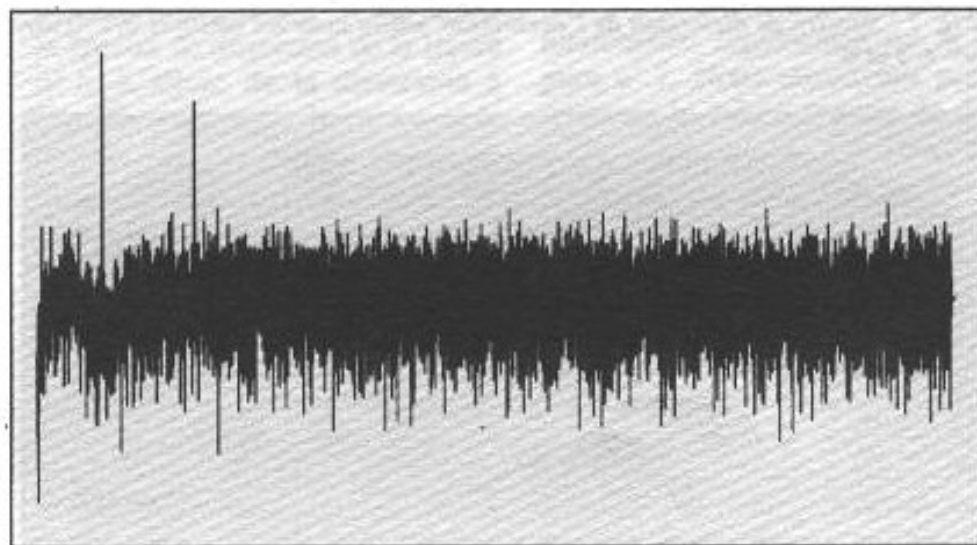


Fig. 10 : Spectre de distorsion de l'amplificateur en boucle ouverte et sans charge pour un signal de sortie de 15 V efficace à 1 kHz : H2 =  $-81$  dB (0,0089 %), H3 =  $-97$  dB (0,0014 %), H4 =  $-105$  dB (0,00056 %).



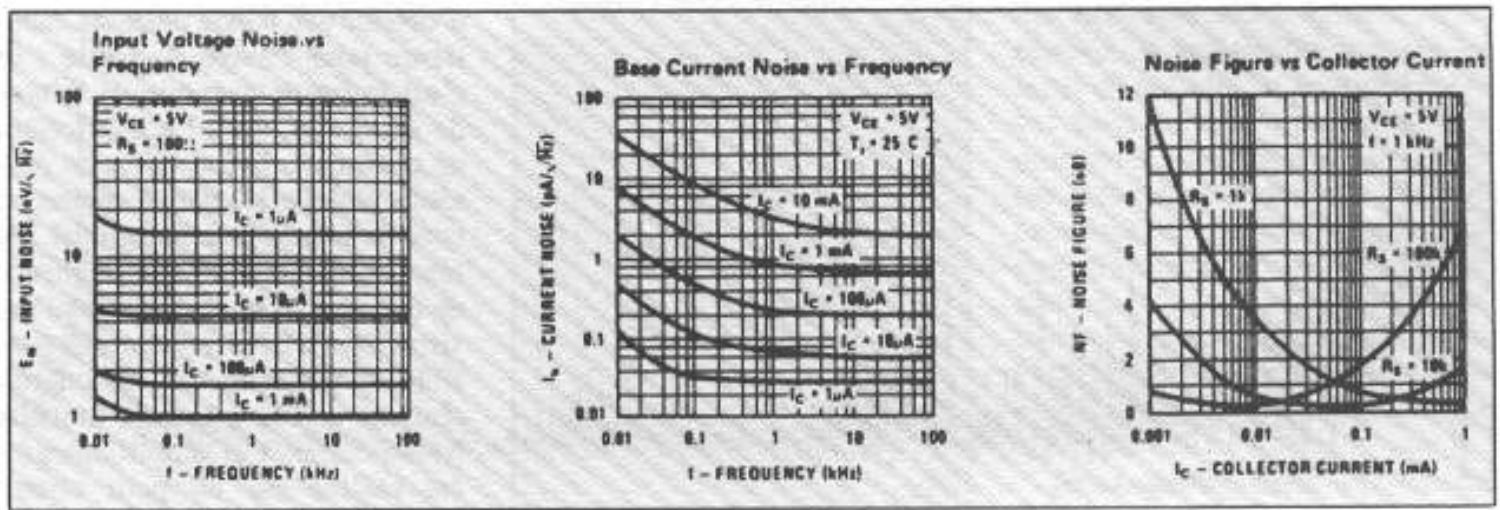


Fig. 11 : Caractéristiques de bruit des transistors d'entrée (doc. National Semiconductor).

bon ; en tous cas, il est clairement supérieur au monstre qui lui sert d'ancêtre. Les spectres de distorsion de celui-ci (voir le n° 16 - nouvelle série - de *L'Audiophile*) étaient déjà fort bons mais restaient dans la limite de la métrologie normale et l'influence de la charge était visible. "Et pour les essais subjectifs ?", me demanderez-vous.

Nous avons fait, jusqu'ici, deux séries de tests subjectifs : pour les premiers, nous avons utilisé l'amplificateur complet tel qu'il vous a été présenté. Les résultats étaient très satisfaisants dans le milieu du spectre (on retrouvait les qualités du monstre) mais étaient frustrants aux deux extrémités de la bande. Soupçonnant des problèmes pouvant être liés aux circuits d'interface, au potentiomètre, aux coupures d'entrée (8 Hz et 40 kHz) ou au transformateur torique, il fut alors décidé de refaire des essais en supprimant les circuits d'interface, le potentiomètre, la coupure d'entrée du continu et en repoussant la coupure ultrasonique. On envisagea aussi de faire des essais au cours desquels on remplacerait rapidement le transformateur torique par un transformateur d'un autre type (à C coupés).

En préparant ces essais complémentaires, nous nous sommes aperçus que, sur une charge réelle avec des signaux musicaux, les circuits amplificateurs étaient le siège, au

bout d'un temps assez court, d'une oscillation parasite produite par les étages de sortie (environ 1,5 V c.-c. à quelques MHz). Sur charge résistive et avec des sinusoïdes, nous n'avons jamais pu déclencher ce phénomène oscillatoire (et dire que certains continuent de penser que les sinusoïdes permettent de tout voir sur un montage !). Une fois ce problème résolu, nous avons toutefois maintenu le programme de test subjectif comme prévu et fait une seconde série d'essais sans les circuits d'interface, sans le potentiomètre, sans la coupure du continu et en repoussant la coupure ultrasonique à 80 kHz. Ces essais ont été pleinement satisfaisants et ont levé les réticences des essais précédents. A l'heure où j'écris ces lignes, ni les essais dans la configuration originale mais sans oscillation parasite, ni les essais de substitution du transformateur n'ont encore eu lieu. Ils permettront de juger de l'impact réel des circuits d'interface, du potentiomètre, de la coupure d'entrée et du transformateur sur la qualité subjective.

La distorsion du circuit d'interface vous est donnée en figure n° 13. On y remarque deux choses : d'une part les niveaux de distorsion sont très faibles et, après ce que vous avez lu plus haut, ils doivent vous paraître bien suspects ; partageant ces soupçons, j'ai mesuré le spectre de distorsion du signal de

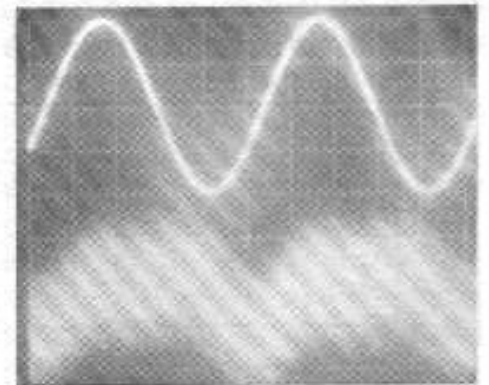


Fig. 12 : Signal de sortie (en haut, 10 V/div.) et distorsion de l'amplificateur en boucle ouverte et sans charge pour un signal de sortie de 15 V efficace à 1 kHz (horizontalement : 0,2 ms/div.).

test dans les conditions de la mesure initiale : le résultat de cette vérification (voir la figure n° 14) confirme nos soupçons : on ne sait pas avec nos moyens mesurer la distorsion de ce circuit. D'autre part, on constate une pollution importante par les harmoniques du secteur ; ce phénomène, qu'on retrouve également sur l'oscillogramme, est lié aux conditions de mesure (mesure faite in situ avec des problèmes de masse).

De toute façon, ce circuit n'a pas été retenu pour notre nouvelle étude ; il est assez linéaire mais il présente deux défauts : il introduit un léger écart de tension continue et il ne sait réaliser qu'un gain de 1. Pour la fonction qu'il remplit dans l'amplificateur (permettre l'utilisation d'un potentiomètre de faible

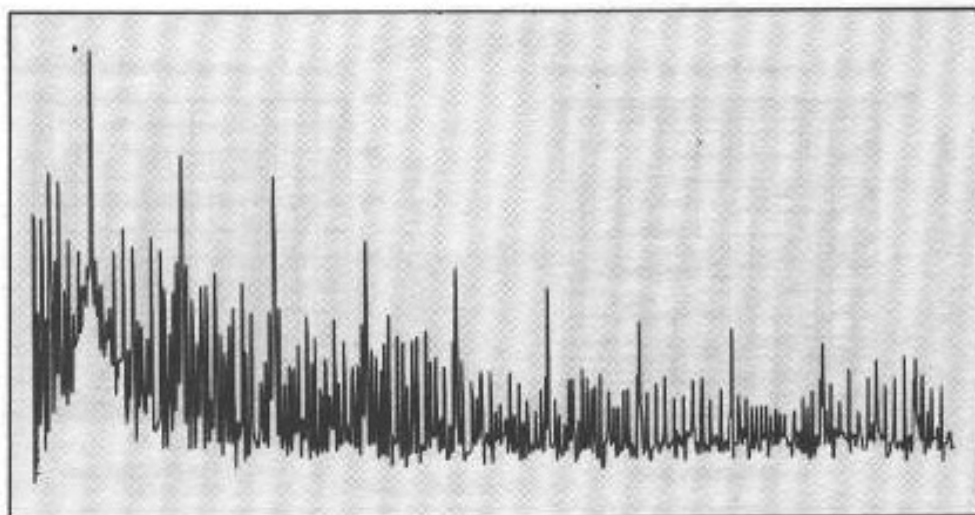


Fig. 13 : Spectre de distortion du circuit d'interface pour un signal d'entrée de 1 V efficace à 1 kHz : H2=-94 dB (0,002 %), H3=-97 dB (0,0014 %), H4=-106 dB (0,0005 %), H5=-111 dB (0,00028 %), H6=-114 dB (0,0002 %), H7=-117 dB (0,00014 %), H8=-119 dB (0,00011 %).

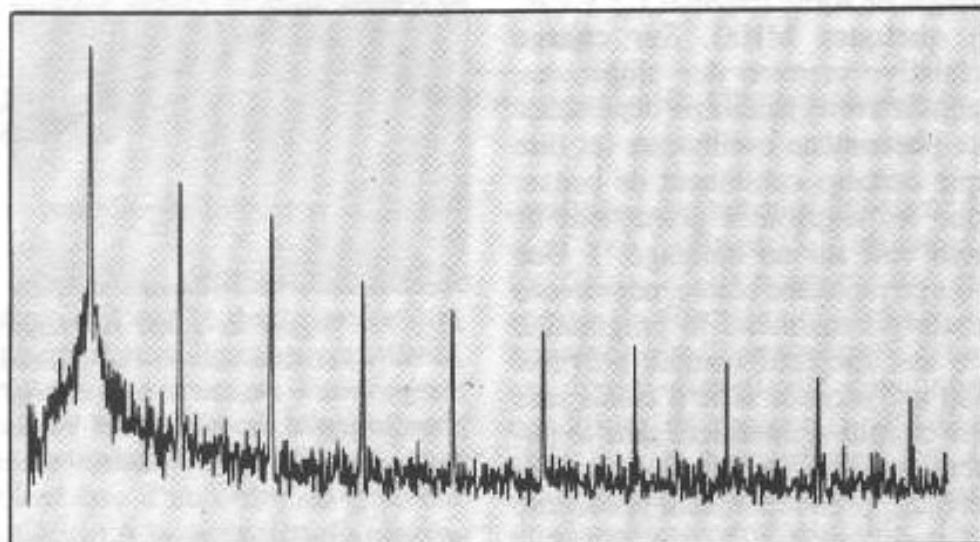


Fig. 14 : Spectre de distortion de l'oscillateur utilisé pour la mesure de la figure n° 13.

résistivité en donnant à l'amplificateur une impédance d'entrée élevée), sa simplicité relative (avantageuse pour une optimisation des coûts) compense largement les deux défauts cités ci-dessus, qui sont sans impact dans ce contexte. Pour notre étude, nous avons préféré un circuit de type amplificateur opérationnel : ce genre de circuit permet en effet de réaliser une très grande variété de filtres actifs.

## L'amplificateur opérationnel bas niveau

Pour les circuits bas niveau, nous avons repris la structure de

l'amplificateur de puissance qui nous a déjà si bien réussi avec, toutefois, deux différences simplificatrices ; d'abord la plus faible dynamique de tension en sortie nous a permis de supprimer un étage ; ensuite la plus faible puissance de sortie nous a permis d'utiliser une configuration d'étage de sortie bien plus simple : nous utilisons en sortie le circuit hyper-classique des collecteurs communs complémentaires polarisés en classe A (le courant de repos est dimensionné pour fournir, en classe A, 3 V efficace sur 100 Ω). Les faibles puissances mises en jeu permettent en outre, avec des transistors plus rapides,

d'obtenir une bande passante supérieure pour l'étage de sortie ; or c'est la bande passante de l'étage de sortie qui, dans l'amplificateur de puissance, limite la bande passante globale et, par là même, le taux de contre-réaction global. En réussissant à obtenir une fréquence de coupure en boucle fermée d'environ 20 MHz, il nous a été possible de porter le taux de contre-réaction à 112 dB dans toute la bande audio. Cet amplificateur a été réalisé sur un petit circuit imprimé (7 cm par 8 cm).

La distortion, mesurée dans une configuration de gain linéaire égal à 10, est donnée dans la figure n° 15. J'ai bien écrit *la distortion mesurée* car les chiffres sont à nouveau si faibles qu'ils sont peu significatifs. La figure n° 16 montre la distortion à l'entrée ; la seule différence réside dans un niveau de bruit de fond de mesure plus élevé. Il est introduit par les circuits d'entrée du distorsiomètre et est lié à la différence de niveau entre l'entrée et la sortie (20 dB).

A défaut d'être mesurable, la linéarité de ce circuit nous semble pour le moins acceptable pour les essais prévus dans le cadre de cette nouvelle étude. Ce circuit pourrait sans doute, après simplification, fournir également une excellente base pour les circuits d'un préamplificateur compatible de notre amplificateur. Il nous semble qu'il pourrait aussi être une bonne brique de base pour des appareils de mesure de distortion, et c'est le dernier point que je souhaite encore aborder aujourd'hui.

## Une nouvelle métrologie

Les limites de notre métrologie auxquelles nous sommes confrontés nous semblent difficilement acceptables. Elles correspondent à des limites habituellement jugées suffisantes pour des applications audio, compte tenu des limites supposées connues de nos oreilles et

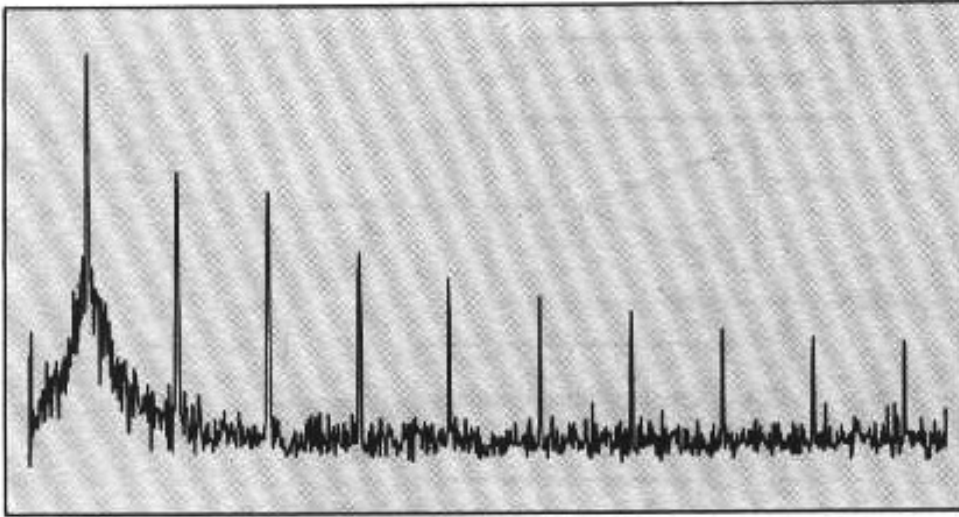


Fig. 15 : Spectre de distortion du circuit bas-niveau monté en gain de 10 pour un signal de sortie de 3 V efficace à 1 kHz : H2=-96 dB (0,0016 %), H3=-99 dB (0,0011 %), H4=-108 dB (0,0004 %), H5=-112 dB (0,00025 %), H6=-115 dB (0,00018 %), H7=-117 dB (0,00014 %), H8=-119 dB (0,00011 %), H9=-121 dB (0,00009 %), H10=-122 dB (0,00008 %).

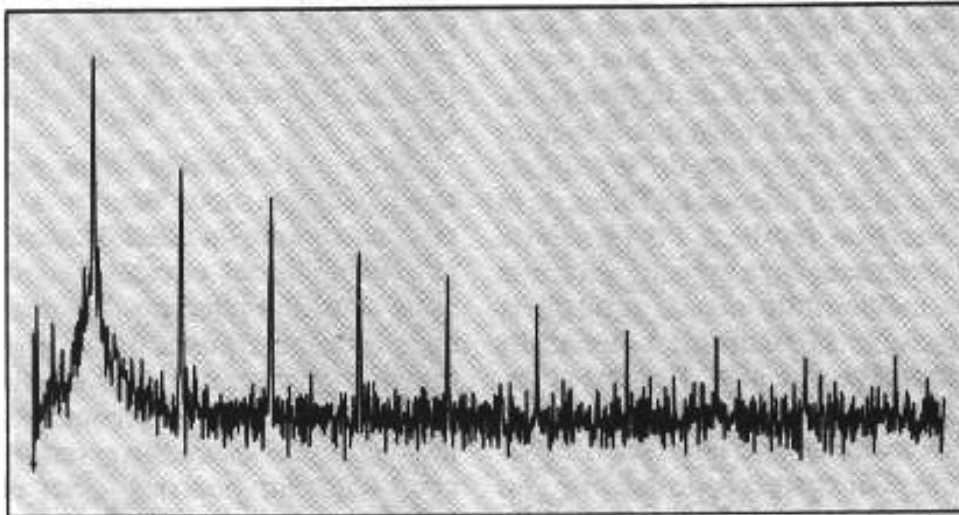


Fig. 16 : Spectre de distortion de l'oscillateur utilisé pour la mesure de la figure n° 15;

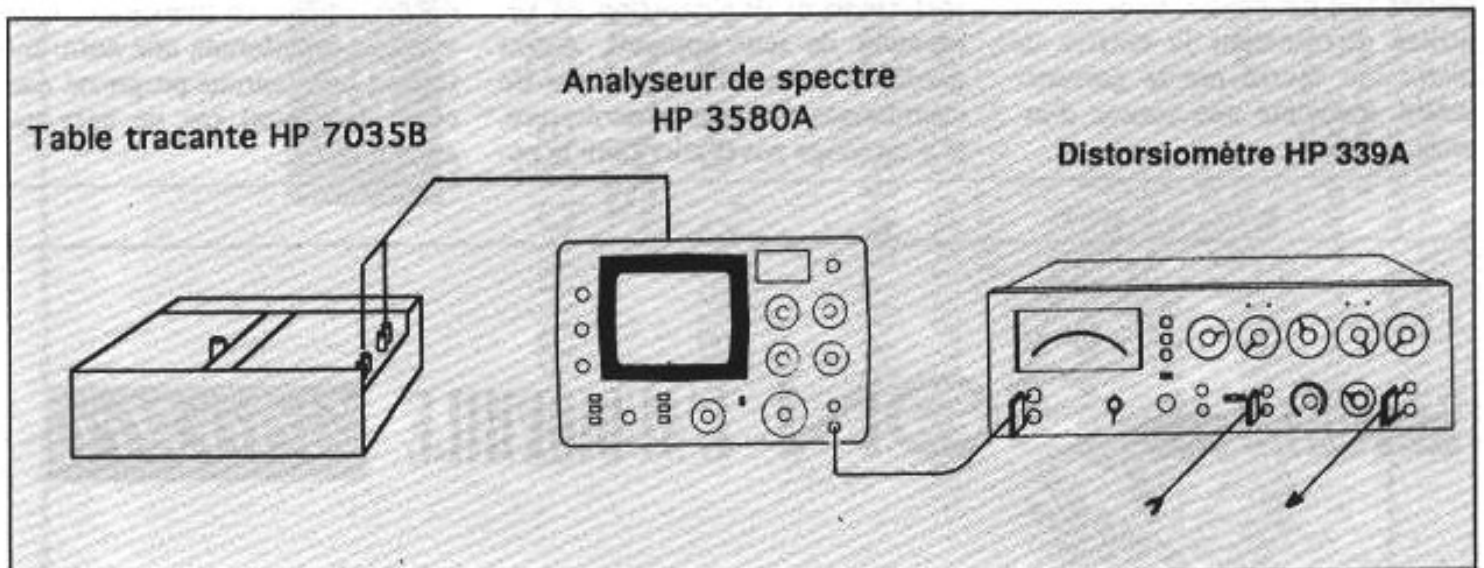


Fig. 17 : Notre chaîne de mesure de distortion.

des performances habituelles des circuits. Il me semble que les limites de nos oreilles ne sont pas assez bien cernées pour qu'il soit possible d'admettre sans discussion ces prétendues limites. De plus, en attendant une confirmation ou une remise en cause de ces limites, une métrologie plus précise serait un outil bien utile pour la conception, l'industrialisation et la production d'équipements plus performants que les matériels actuels.

Nous avons donc décidé de chercher à améliorer la métrologie. Voyons tout d'abord le cas de la mesure de distortion classique, c'est-à-dire en régime établi avec des signaux sinusoïdaux. Notre chaîne de mesure actuelle, celle qui a été utilisée pour les mesures de cet article, est représentée dans la figure n° 17. Elle se compose d'un distorsiomètre HP 339A, d'un analyseur de spectre basse-fréquence HP 3580A et d'une table traçante HP 7035B. Tous ces matériels sont de conception ancienne (une vingtaine d'années) mais ils restent tout à fait valables dans le contexte métrologique actuel, les progrès récents dans ce domaine étant surtout liés au confort d'utilisation (automatisation des mesures) et aux coûts de fabrication.

La limite des performances de notre chaîne de mesure réside en premier, ainsi que nous l'avons vu

plus haut, dans l'oscillateur de test du distorsiomètre. L'analyse du signal de distorsion de celui-ci (obtenu en analysant la distorsion du générateur, ainsi que nous avons été amenés à le faire) est intéressante : voir l'oscillogramme de la figure n° 18. On peut en tirer deux informations : tout d'abord, l'amplitude du fondamental est importante et supérieure aux spécifications du constructeur (je me souviens avoir déjà fait cette expérience il y a bien longtemps lorsque cet appareil était neuf ; le signal de sortie du distorsiomètre dans les

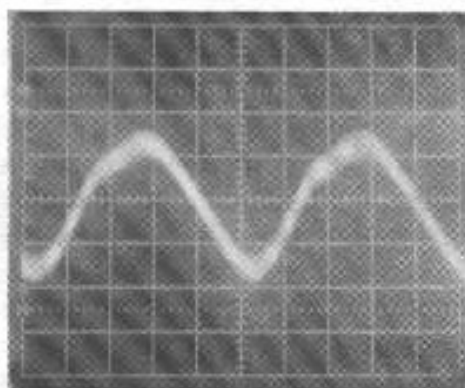


Fig. 18 : Oscillogramme de la distorsion du générateur.

mêmes conditions contenait très peu de fondamental) ; cela confirme le besoin de révision du distorsiomètre, mais dans notre mode d'utilisation (l'analyse des composantes de la distorsion à l'analyseur de spectre), cela n'est pas gênant ; si, par contre, nous avons utilisé directement le chiffre de distorsion fourni par le galvanomètre, c'eût été une source d'erreur.

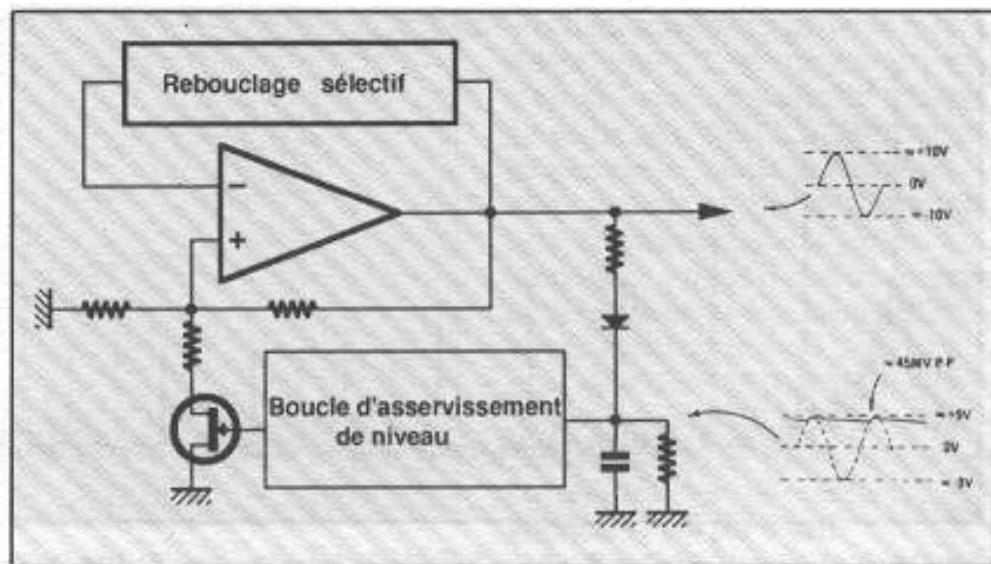


Fig. 19 : Schéma de principe de l'oscillateur interne du distorsiomètre (selon doc. Hewlett-Packard).

A quelque chose malheur est bon : la présence du fondamental dans le signal de sortie du distorsiomètre permet de bien comprendre la source de la distorsion. La figure n° 19 nous donne le principe de régulation de niveau de l'oscillateur interne. La forme de la distorsion résulte à l'évidence du chargement de la capacité qui garde la mémoire du niveau pendant le cycle de la sinusoïde ; il est fort dommage que MM. Hewlett et Packard (ou leurs comparses) n'aient pas intercalé une interface d'isolation pour charger cette capacité : un amplificateur opérationnel faible coût ou même un simple transistor leur aurait permis d'améliorer les performances de distorsion du générateur de leur appareil. Ayant gardé de mauvais souvenirs de charcutages d'appareils de mesure, je n'envisage pas d'aller faire la pe-

tite modification, mais plutôt de réaliser un oscillateur de grande pureté spectrale (sans charge de capacité, bien sûr) en utilisant l'amplificateur opérationnel décrit plus haut.

Avec un oscillateur plus pur, nous devrions nous heurter à la deuxième limite du distorsiomètre : la linéarité de ses circuits d'entrée et de son filtre réjecteur. En attendant de découvrir cette limite, nous tenons à préciser que nous n'envisageons pas encore de reconstruire tout le distorsiomètre. En revanche, cet oscillateur pourrait servir de base à un autre type de distorsiomètre qui n'existe pas encore et qui nous tient beaucoup à cœur : un distorsiomètre en transitoire. Nous vous en reparlerons une autre fois (quand nous aurons progressé dans cette direction) car ce sera une autre histoire...

la nouvelle  
**REVUE DU SON**

**SON**  
MUSIQUE  
VIDEO  
MAG

L'AUDIOPHILE

VIDEO  
**SonPro**  
CINEMA MAGAZINE

**Editions Fréquences, 1 Bd Ney 75018 Paris**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**



## Les Câbles, les Condensateurs et la Mémoire des Isolants...

**D**

*ans la jungle touffue des câbles de raccordement, deux mécanismes apparaissent comme prépondérants pour expliquer les différences de sonorité perçues à l'écoute, en dehors de l'effet de peau, maintenant bien connu et facile à maîtriser : les contacts entre brins élémentaires et les phénomènes de mémoire des isolants. L'accueil très favorable reçu par le câble "type PTT" proposé dans le précédent article(1), semble bien confirmer ces hypothèses. Si le problème des contacts non contrôlés entre brins est incontestable, le problème de la mémoire des isolants est assez mal connu, si l'on excepte le cas limite des électrets. Nous allons voir dans cet article que cet effet peut être assez facilement mis en évidence et conduit à des conclusions instructives, tant pour les condensateurs que pour les câbles de raccordement.*

### Rappel des épisodes précédents

Le problème des câbles de raccordement est bien un des problèmes les plus irritants en matière de Haute-Fidélité : comment deux conducteurs séparés par un isolant peuvent-ils poser autant de problèmes ?

Si l'on s'en remet aux mesures et à leur arsenal informatique associé, la perplexité s'aggrave : on ne voit pratiquement rien, ou presque,

en dehors des résultats habituels et archi-connus en bande passante et phénomènes de propagation... Beaucoup en concluent que les soi-disant différences de sonorité ne sont que chimères d'audiophiles et oublient que ce n'est pas parce qu'on ne sait pas faire une mesure sur un phénomène que celui-ci n'existe pas...

En fait, depuis que la Haute-Fidélité s'est répandue, l'expérience a montré que les Audiophiles et leurs oreilles avaient constamment

eu raison contre les théoriciens purs et durs et leurs théories limitées... Il en est ainsi de la Distorsion Thermique qui a bien montré la supériorité des tubes sur les transistors, du choix des composants passifs, etc.

Pour revenir aux câbles de raccordement, l'étude des théories classiques sur l'effet de peau, les efforts électrodynamiques, les phénomènes de propagation, les effets de mémoire des isolants et les problèmes de contacts entre brins dans

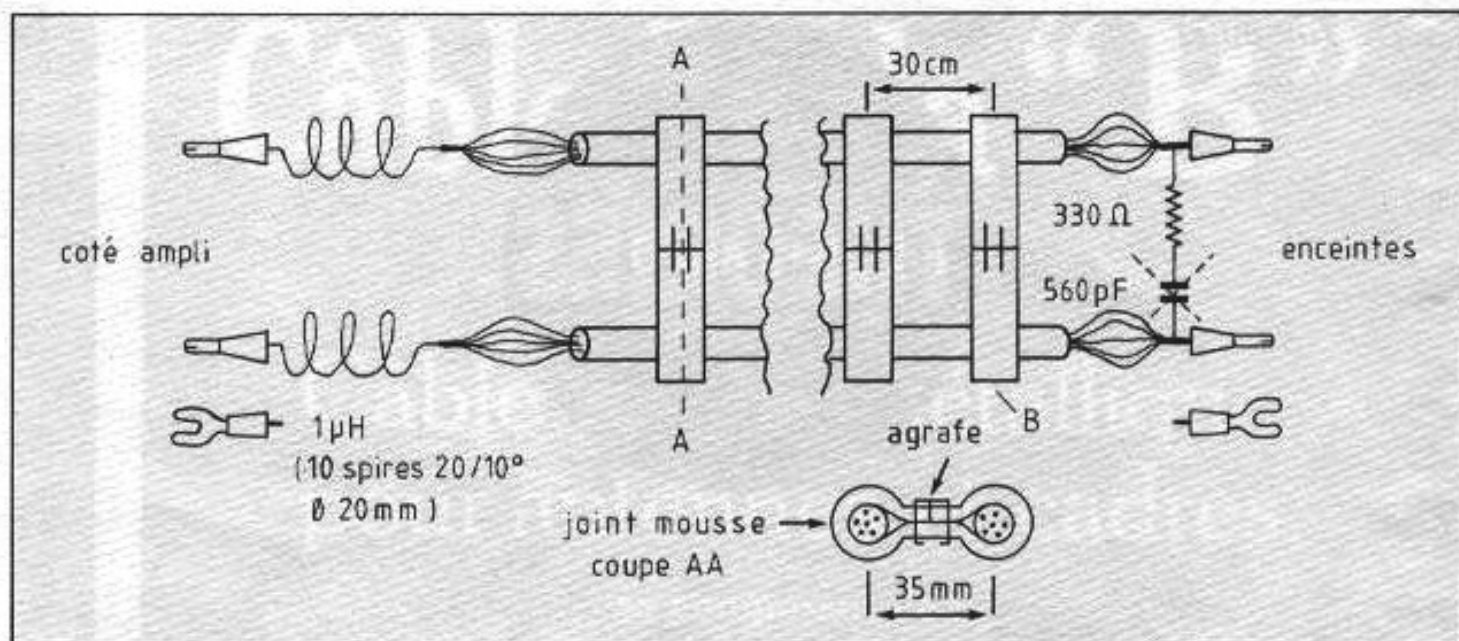


Fig. 1 : Câble HP réalisé en câble PTT (5 paires  $\Delta 5/10^\circ$ ), cf. [1]. La capacité de 560 pF a été ultérieurement supprimée et un morceau de plomb a été fixé en B (voir texte).

le cas de conducteurs multibrins nous conduisent à un ensemble de conditions nécessaires, la difficulté en matière de câbles Haute-Fidélité étant qu'aucune n'est suffisante :

- Chaque conducteur ("aller" ou "retour") doit être constitué de brins isolés de diamètre inférieur à 0,6 mm.

- Les conducteurs "aller" et "retour" doivent être séparés par une distance D de l'ordre de quelques centimètres.

- Le câble ainsi constitué doit être amorti en installant à l'entrée deux petites selfs de 1 µH.

- Il est intéressant d'adapter le câble sur son impédance caractéristique généralement voisine de 300 Ω.

Le câble prototype proposé dans le précédent article utilisait du câble "PTT" à 5 paires suivant la structure rappelée fig. 1.

De nombreux lecteurs ont réalisé ce câble, avec des résultats très favorables, ce qui semblait bien valider les théories ayant prévalu à sa conception. Néanmoins, il est toujours bon d'analyser plus avant les résultats obtenus sur les câbles de haut-parleurs et d'en faire profiter les câbles d'alimentation et surtout les câbles de modulation à bas niveau.

## I - Les câbles d'alimentation

A priori, c'est un type de composant dont le rôle paraît bien trivial puisqu'on lui demande de fournir "bêtement" du courant à l'alimentation. C'est en fait ici que la difficulté apparaît : le courant demandé par les alimentations fournissant des tensions continues est généralement de type pulsé, à fronts raides et très riche en harmoniques (fig. 2).

L'effet de ce type de courant dans un conducteur multibrins va se traduire par des efforts impulsionnels entre brins qui vont eux-mêmes moduler les résistances de contact existant entre ces différents brins. L'effet de peau, compte tenu de la présence de nombreux har-

moniques, ne vas pas arranger les choses. Le câble se présentera alors comme une impédance variable, non linéaire et génératrice d'harmoniques supplémentaires qui ne demanderont qu'à polluer davantage les circuits alimentés.

La solution est simple : il faut éviter autant que possible tout câble multibrins pour l'alimentation des appareils. Par contre, les phénomènes connexes tels que effet de peau, effet de proximité et effets capacitifs ne peuvent jouer qu'un rôle plutôt favorable dans la mesure où une bande passante réduite conduit à filtrer les hautes fréquences.

Ici aussi, le câble PTT peut être avantageusement mis à contribution, puisque l'on peut utiliser un conducteur par paire pour la phase,

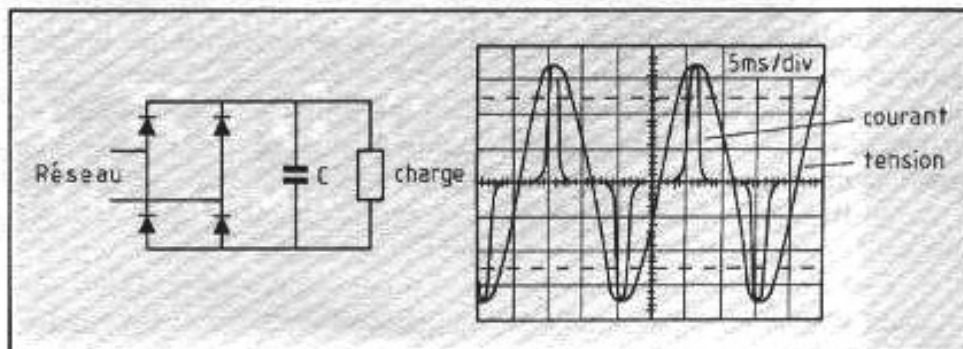


Fig. 2 : Tension et courant réseau dans une alimentation classique.



l'autre conducteur pour le neutre.

On peut bien sûr réserver une paire pour la masse, côté prise et côté appareil, si les conditions de sécurité l'exigent (on peut aussi utiliser le conducteur du blindage).

On peut également utiliser du câble rigide tout à fait ordinaire torsadé, le problème étant le manque de souplesse chronique dont celui-ci fait preuve (le câble PTT à 5 paires est **relativement** souple).

### Une expérience instructive...

L'importance des câbles d'alimentation a été vérifiée d'une manière indirecte et tout à fait imprévue : nous disposons de tores de ferrite destinés à la protection contre les parasites de mode commun, vendus comme accessoires Haute-Fidélité par la marque TDK. Ceux-ci se présentent comme deux demi-coquilles clipsables sur les câbles d'alimentation ou de modulation. Ces tores se comportent en fait comme des inductances localisées. Lorsque le conducteur fait un aller-retour dans le tore (mode différentiel), les inductions dans le tore s'annulent et le signal utile passe sans altération. Par contre, les signaux parasites en mode commun (rebouclage par les masses) sont bloqués ou tout au moins fortement atténués (fig. 3).

Compte tenu de la forte capacité entre brins d'un câble PTT, il était a priori tentant d'accroître l'inductance de la phase et du neutre pour augmenter le filtrage dans les hautes fréquences (fig. 4), en raccordant un tore sur chaque phase. Ce qui s'est avéré très intéressant dans cette expérience, c'est que le résultat subjectif a été proprement désastreux : aigus stridents, spectre décalé vers l'aigu, manque de propreté permanent, etc.

Ce résultat négatif est en fait très instructif : les tores de ferrite ont un comportement très non-linéaire, avec une saturation franche et, bien que la variation d'inductance soit faible, la raideur des fronts obtenus

provoque un parasitage permanent.

### Cet essai prouve - a contrario - l'importance des cordons d'alimentation dans la musicalité globale d'un système.

La conclusion s'est imposée d'elle-même : les tores ont été enlevés et disposés sur le câble complet qui a alors donné toute satisfaction (fig. 5). Les tores doivent être placés le plus près possible du récepteur. Cette protection est d'ailleurs souvent employée sur le matériel informatique récent.

## II - Le problème de la mémoire des isolants

Lors des réflexions sur les câbles de haut-parleurs, un des paramètres

fondamentaux responsable du son des câbles était le phénomène de passage du courant au travers des contacts existant entre brins élémentaires. Or, l'expérience avait montré qu'un ensemble de conducteurs rigides isolés mais proches les uns des autres ne donnait qu'un résultat satisfaisant sans déclencher d'enthousiasme excessif... (Cette expérience peut être faite avec un câble PTT en utilisant les conducteurs aller-retour de chaque paire, bien sûr très proches les uns des autres.) Tout s'améliore lorsque les conducteurs sont séparés par une distance suffisante, de 2 à 3 cm environ.

De plus, le fait que le son s'améliorait encore nettement au bout

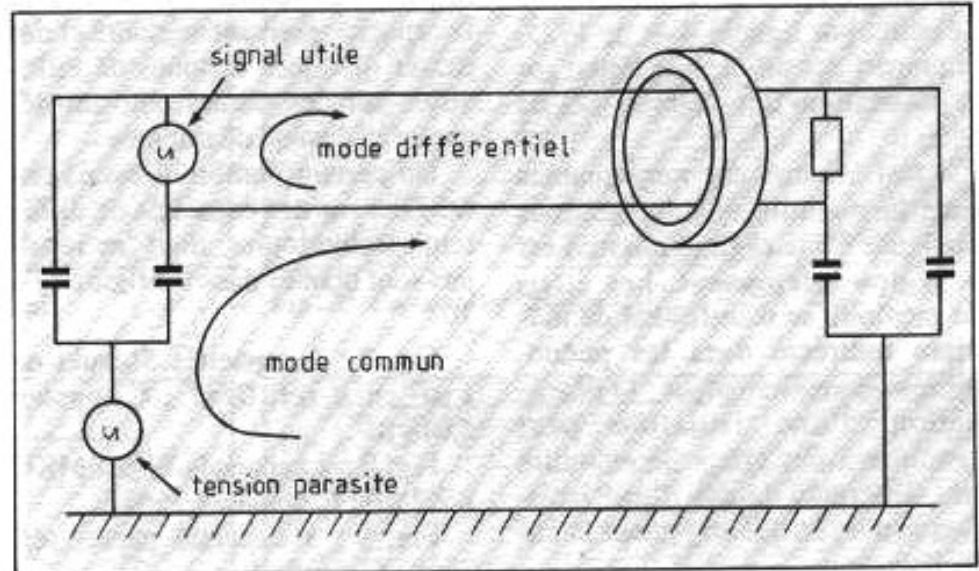


Fig. 3 : Blocage des parasites induits en mode commun par tore de ferrite.

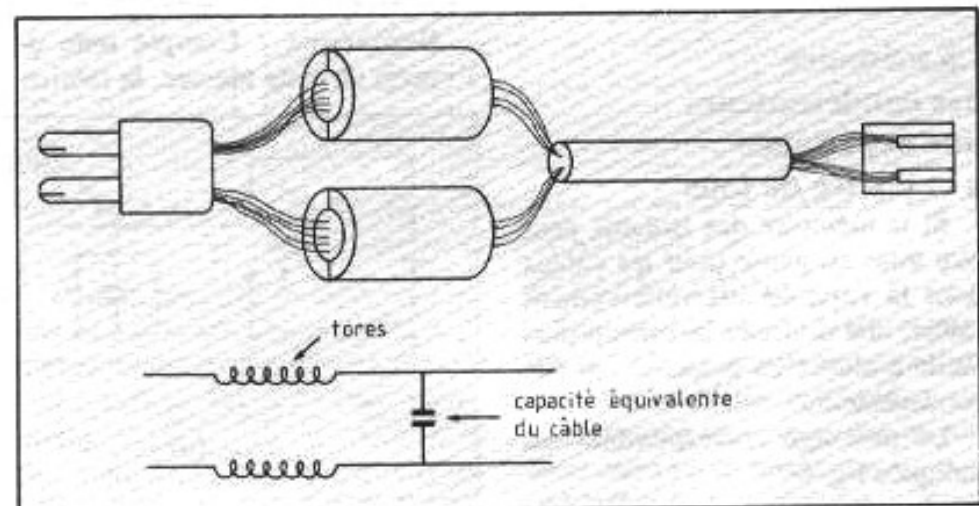


Fig. 4 : Réalisation d'un cordon à filtrage HF par tores de ferrite et schéma équivalent.

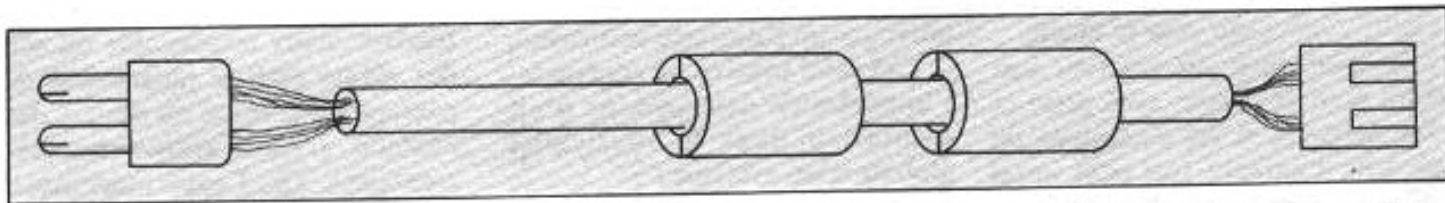


Fig. 5 : Cordon définitif : la bonne solution. A noter qu'il existe des tores à trou central plus gros permettant plusieurs passages du cordon.

de quelques heures d'écoute (ou de repos...) semblait mettre en évidence un effet de mémoire qui, a priori, ne pouvait résider que dans l'isolant du câble.

### Les condensateurs et la mémoire des isolants

Les phénomènes de mémoire dans les isolants sont à la fois bien connus et mal connus :

- bien connus car étudiés depuis très longtemps : la découverte de l'électret par Eguchi date de 1925, la plupart des articles de Pellat sur la polarisation des diélectriques de 1900 ;

- mal connus car négligeables dans la majorité des applications pratiques où le régime normal est le régime permanent. Les effets de mémoire se manifestent de manière indirecte dans les phénomènes de vieillissement : la dégradation d'une isolation peut conduire à des effets de mémoire très différents du cas d'une isolation neuve, ce qui en permet la caractérisation.

Peut-on les mettre en évidence dans les câbles ?

### La mémoire des condensateurs : une expérience à la portée de tous

Si la mémoire des isolants peut être mise en cause pour les câbles dont la capacité est relativement faible, elle doit être beaucoup plus facile à mettre en évidence sur des condensateurs.

Le montage correspondant est indiquée fig. 6.

- On utilise une sonde 10 M $\Omega$  pour ne pas décharger trop vite le condensateur. L'oscillo doit être

sur balayage lent (un oscillo numérique ou à mémoire est préférable).

- La capacité est chargée à la tension de la source (pouvant atteindre la tension limite de la capacité en essai), soit 150 V pendant 1 s environ.

- Elle est ensuite court-circuitée un bref instant de sorte que l'oscillo indique bien un retour à zéro.

- Lorsque l'inverseur retourne à sa position repos, on observe une remontée de tension aux bornes de la capacité, pouvant atteindre et dépasser quelques dizaines de millivolts, sur des durées pouvant dépasser la dizaine de minutes...

Un certain nombre d'essais ont été faits sur des capacités de différentes technologies, dont les résultats sont donnés dans les figures 7 à 10 :

Fig. 7 : 5 capacités Shizuki de 1  $\mu$ F en // réf. 0987 ; C. totale= 5,018  $\mu$ F.

Fig. 8 : 2 capacités Wima MKC x 2,2  $\mu$ F ; C. totale=4,756  $\mu$ F.

Fig. 9 : 1 capacité papier réf. 2963 ; C=1,94  $\mu$ F.

Fig. 10 : 1 capacité céramique LCC 22 nF 350 V ; C=23,09 nF.

**Remarque :** Compte tenu de l'intérêt de cette mesure, la fabrica-

tion d'un appareil pratique la permettant serait fort bien venue : avis aux classes d'électronique des collèges techniques ou autres...

On constate un remarquable accord entre le phénomène de mémoire proprement dit et la cote Audioophile des condensateurs testés, le résultat le plus désastreux étant obtenu avec un condensateur céramique de seulement 22 nF !

Les électrochimiques ne sont pas fameux non plus sur ce plan...

### Modélisation du phénomène

Tout condensateur se comporte donc en fait comme une association de capacités telle que l'indique la fig. 11.

Bien que l'interprétation physique du phénomène ne soit pas évidente, cette modélisation conduit à une très bonne analyse des résultats obtenus.

Si R représente bien les pertes actives dans la capacité associées à la tangente  $\delta$ , il faut voir dans C<sub>1</sub> une réserve de charges piégées qui ne peuvent s'écouler qu'avec une constante de temps  $\tau=R_1C_1$ . Par ailleurs, bien que l'étude n'en ait

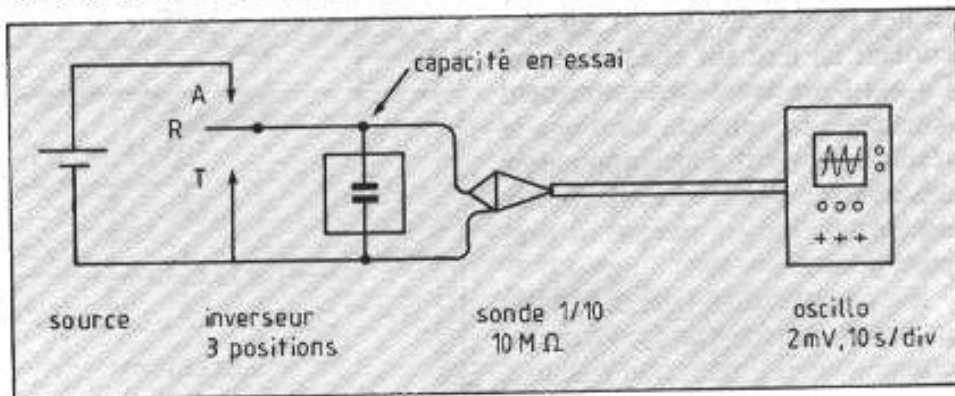


Fig. 6 : Mise en évidence de la mémoire des condensateurs. Positions de l'inverseur : A : charge ; T : court-circuit ; R : repos.

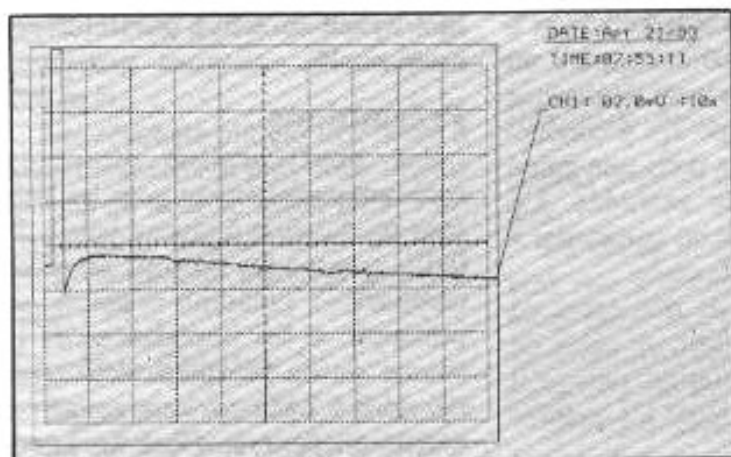


Fig. 7 Condensateurs SHIZUKI -  $5 \mu F$  20 mV/C 10 s/c

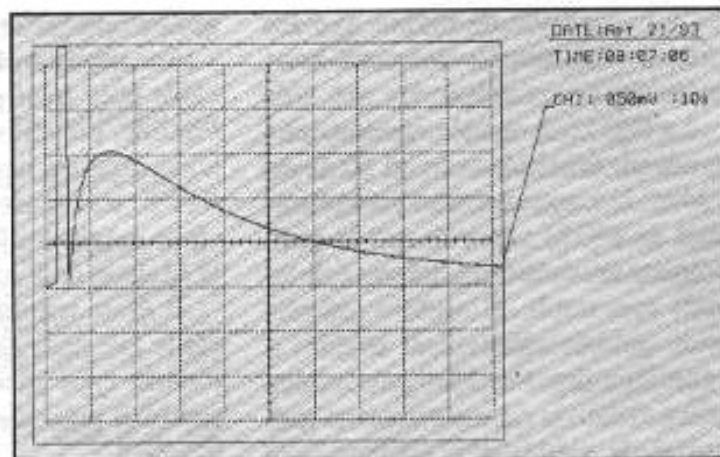


Fig. 8 WIMA - MKC -  $4,7 \mu F$  0,5 V/C 10 s/c

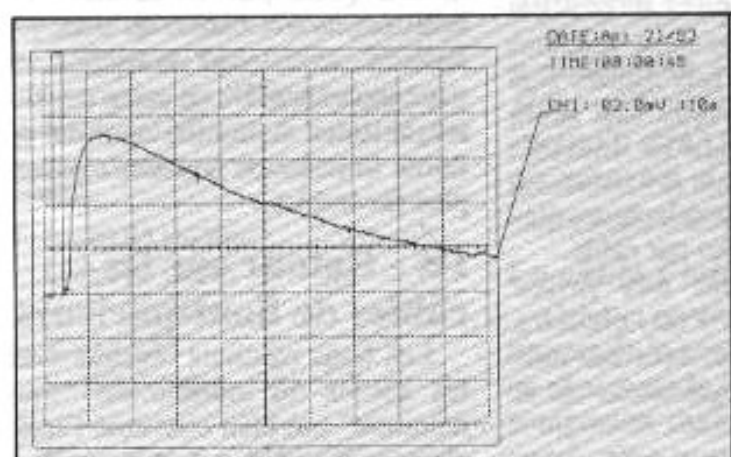


Fig. 9 Capacité papier  $2 \mu F$  20m V/C 10 s/c

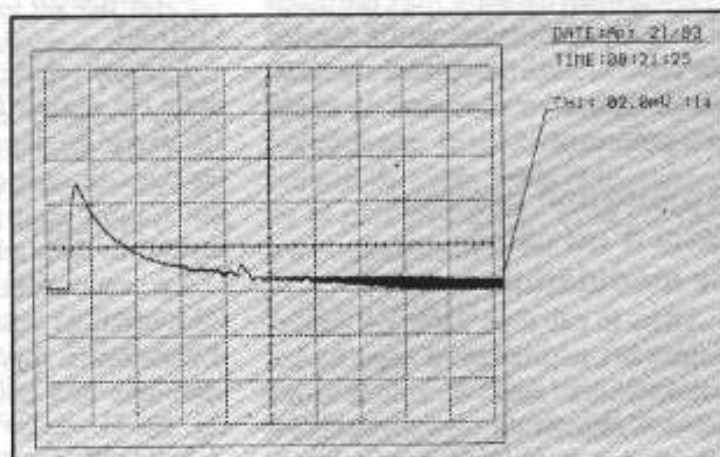


Fig. 10 Capacité céramique  $0,022 \mu F$  20m V/C 1 s/c

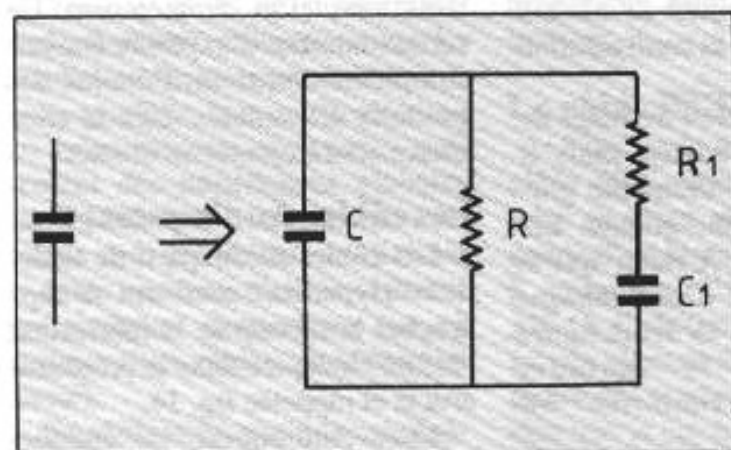


Fig. 11 : Modélisation de l'effet de mémoire dans un condensateur.

pas été effectuée avec suffisamment de précision, il semble bien que les phénomènes soient non-linéaires et mettent en jeu des effets de seuil : aucune mémoire n'apparaissant sur les condensateurs Shizuki chargés à 12 V, alors qu'elle était déjà visible sur les condensateurs papier.

Pour couronner le tout, le phénomène s'avère très sensible à la température...

Le calcul des différentes constantes ( $C$ ,  $R$ ,  $C_1$ ,  $R_1$ ) du modèle se fait sans difficultés à partir d'un essai, les calculs (assez fastidieux...) n'ayant pas d'intérêt particulier sont reportés en annexe.

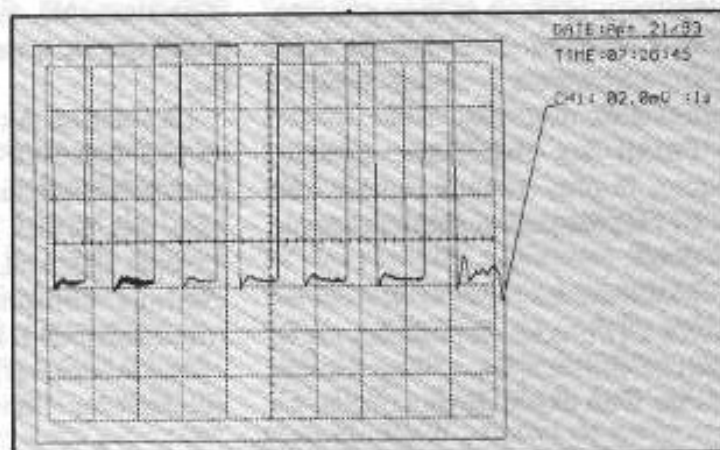


Fig. 12 : Effet de mémoire sur un câble coaxial (ne pas tenir compte du 7<sup>e</sup> signal). 20 m V/C 1 s/c

### Et sur les câbles ?

Les câbles de modulation présentent généralement une structure coaxiale ou bifilaire blindée avec une capacité plus ou moins importante entre les conducteurs.

L'effet de mémoire est évidemment beaucoup plus difficile à mettre en évidence, car les capaci-

tés mises en jeu de même que les champs électriques internes sont beaucoup plus faibles.

La fig. 12 donne les résultats obtenus sur un câble coaxial 50  $\Omega$  de 124 m de long, avec une charge initiale de 150 V : on voit que le phénomène est évidemment très faible, mais mesurable. Il ne faut pas oublier que ces câbles sont amenés à véhiculer des tensions minimales utiles voisines du microvolt et que l'effet de mémoire n'est certainement pas négligeable en Audio vis-à-vis des niveaux à transmettre.

On retrouve bien ici la confirmation de l'intérêt consistant à écarter les conducteurs des câbles de haut-parleur pour en diminuer la capacité propre.

### Application pratique : essai d'un câble de modulation

Dans le cas d'un câble de modulation, il est difficile d'espacer les conducteurs aller et retour sous peine d'obtenir un véritable piège à parasites. La solution consiste donc à utiliser des isolants sans mémoire. Parmi ceux-ci, sont connus depuis longtemps le verre et la porcelaine, dont l'absence de souplesse rend toute utilisation pratique pour le moins délicate...

Parmi les matériaux synthétiques, le plus indiqué semble être le PTFE plus communément appelé Téflon®.

Malheureusement, si des câbles isolés PTFE sont disponibles sur le marché (Filotex, etc.), il ne semble pas qu'il en existe de monobrins, ce

qui complique le problème.

Sur ces entrefaits est apparu un câble pour haut-parleurs de marque Flatline, constitué de 2 x 4 conducteurs méplats isolés dans une gaine PTFE transparente extrudée. Ce câble est disponible en particulier à la Maison de l'Audiophile.

Il était tentant de détourner ce câble HP pour en faire un câble de liaison type modulation puisqu'il semblait présenter toutes les qualités requises :

- conducteurs monobrins minces à effet de peau constant en BF ;
- isolation sans mémoire (Téflon).

Chaque câble de modulation a donc été réalisé à partir d'un câble HP divisé en deux à l'aide d'un cutter dans le sens de la longueur, ce qui fournit quatre conducteurs élémentaires disponibles par câble.

Le raccordement aux prises Cinch/RCA, que l'on choisira d'excellente qualité, sera fait suivant une des configurations de la fig. 13.

Seule la configuration A a été testée ; les résultats ont été si satisfaisants que l'auteur a préféré (égoïstement) écouter sa chaîne plutôt que de tester la configuration B...

La solution A offre l'avantage de ne pas créer de boucles, mais B peut présenter une immunité globale aux bruits plus grande. Les lecteurs jugeront... **A noter que le câblage complet d'une chaîne (modulation+HP) la transfigure complètement, le moindre conducteur "non conforme" ou-**

blié ayant un effet particulièrement nocif...

### Précautions

La configuration proposée convient parfaitement pour les liaisons modulation à niveau voisin de 0 dB, comme les liaisons tuner ou compact → préampli et ampli → préampli, si les impédances de la source ou du récepteur sont inférieures à 4,7 k $\Omega$  environ, ce qui est vérifié en général. Pour les impédances supérieures et, en particulier pour les liaisons cellules à aimant mobile-préampli, l'immunité au bruit est moins bonne qu'avec les liaisons coaxiales et du ronflement peut apparaître. De ce point de vue, les cellules à bobine mobile de faible impédance peuvent s'avérer plus favorables.

### III - Retour sur les câbles de haut-parleurs

Les bons résultats obtenus avec les câbles de modulation "sans mémoire" ont bien confirmé l'intérêt pour les câbles de haut-parleur d'espacer les conducteurs aller et retour, à défaut d'utiliser des isolants sans effet de mémoire. Un certain nombre d'expérimentations complémentaires et d'études des produits disponibles dans le commerce sont à ajouter au dossier :

#### Les câbles Audioquest [4]

Les câbles Audioquest de structure "Hyperlitz" semblent se rapprocher beaucoup de la fabrication "idéale" indiquée dans le précédent article et rappelée fig. 14.

Chez Audioquest, les conducteurs "aller" et "retour" sont cependant sur le même câble, chacun occupant un demi-périmètre. Il était intéressant de réaliser un câble "idéale" en accouplant deux câbles Audioquest type Indigo Hyperlitz par du joint mousse, les deux conducteurs étant séparés par une distance de 3,5 cm.

Cet essai était d'autant plus intéressant que l'isolant utilisé est déclaré à base de Téflon et que le

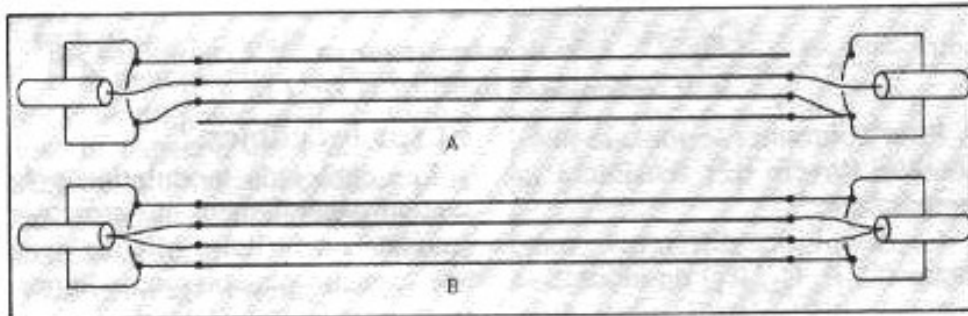


Fig. 13 : Câble de modulation réalisé à partir du câble Flatline. A : avec écrans ; B : structure pseudo-coaxiale. Cette structure peut être facilement adaptée avec connecteurs professionnels Switchcraft à 3 broches.

cuiivre est du type à cristaux longs (longueur moyenne annoncée : 200 m !).

Les résultats ont été très bons, à la fois légèrement plus doux et plus définis qu'avec le câble PTT, l'inconvénient majeur étant un prix sans commune mesure avec le câble PTT...

### Le câble Flatline [7]

Rappelons que ce câble est constitué de 2 x 4 conducteurs méplats de dimensions 0,24 x 1,27 mm dans une matrice de Téflon extrudé transparente. Ce câble présente les caractéristiques suivantes, pour l'ensemble de deux conducteurs (la notice fournie par le fabricant s'avérant assez légère sur ces détails...) :

$$\left. \begin{array}{l} R=30,85 \text{ m}\Omega/\text{m} \\ L=0,610 \text{ }\mu\text{H}/\text{m} \\ C=16,95\text{pF}/\text{m} \\ Z_c=142,7 \text{ }\Omega \\ v=193,3 \text{ m}/\mu\text{s} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{BF} \\ \text{HF} \end{array}$$

Nous n'avons pas eu l'occasion de tester ce câble dans des conditions réelles d'écoute si l'on exclut la version câble de modulation, mais il réunit presque toutes les conditions requises pour obtenir de bons résultats. Une seule réserve : les brins internes et externes présentent des impédances globales assez différentes et de meilleurs résultats sont prévisibles en divisant le câble en deux moitiés séparées par quelques centimètres (ou en utilisant deux câbles, un aller et un retour).

Ce câble doit, par ailleurs, présenter un grand intérêt pour les casques Haute-Fidélité, en particulier pour la réalisation de cordons prolongateurs de haute qualité qui font cruellement défaut sur le marché.

### Le câble Ocos [5]

Ses concepteurs fournissent une notice très bien documentée qui en explique la genèse. Il s'agit d'un câble coaxial pour haut-parleurs,

d'impédance caractéristique 8  $\Omega$  et où l'on a réalisé la condition d'Heaviside  $\frac{R}{L} = \frac{G}{C}$  en utilisant un isolant dopé et donc semi-conducteur.

Ce câble présente l'intérêt d'avoir une transmittance constante à toute fréquence et conserve ses caractéristiques sur des grandes longueurs ( $\geq 100$  m).

Or, nous avons vu que pour de courtes longueurs, le respect de la condition d'Heaviside était sans intérêt : les bons résultats obtenus par le câble OCOS sont en fait dus au caractère semi-conducteur de l'isolant utilisé, qui permet l'écoulement des charges piégées dans l'isolant et annule tout effet de mémoire : la théorie trouve ici une confirmation assez inattendue !

### Le câble Fadel [6]

Celui-ci revendique également le respect de la condition d'Heaviside en chargeant le diélectrique par un composant magnétique. Il est là aussi plus que probable qu'il réalise également un écoulement des charges piégées et évite ainsi le redoutable effet de mémoire des isolants.

### Le câble PTT

Lors de la mise en service du câble PTT, nous préconisons la mise en place aux bornes de l'enceinte d'un réseau RC série destiné à adapter l'impédance (R=330  $\Omega$ , C=560 pF). Devant les résultats obtenus avec l'effet de mémoire des condensateurs, inutile de dire que la capacité a été purement et simplement supprimée, avec une

nette et audible amélioration.

Une astuce permet de s'affranchir des vibrations que l'enceinte peut communiquer au câble : un morceau de plomb a été disposé sur le câble à 10 cm environ des bornes de manière à créer un point fixe pour annuler la transmission des vibrations (fig. 15).

Dans l'article précédent, nous avons suggéré que le multicâblage des enceintes devait présenter moins d'intérêt. Nous sommes donc repassés en monocâblage qui, effectivement, s'est avéré au moins égal, ce qui prouve que les problèmes d'intermodulation dans les câbles classiques étaient loin de n'être qu'une vue de l'esprit. Sur sa précédente installation, l'auteur utilisait du câble Isoda et le passage en bi puis tri-câblage avait été tout à fait significatif....

## Conclusion

Les phénomènes de mémoire des isolants semblent bien un paramètre-clé dans la musicalité des appareils Haute-Fidélité, tant pour les condensateurs dont les diélectriques constituent l'essentiel que pour les câbles de raccordement. On explique bien ainsi les différences perçues à l'écoute entre différents condensateurs, différents circuits imprimés, différents câbles...

On explique également une partie des résultats supérieurs obtenus dans les installations à haut rendement : il suffit de 2,8 V pour 100 dB sur une chaîne de 100 dB/W alors qu'il faut 28 V pour 80 dB/W ; l'effet de mémoire est très réduit dans le 1<sup>o</sup> cas.

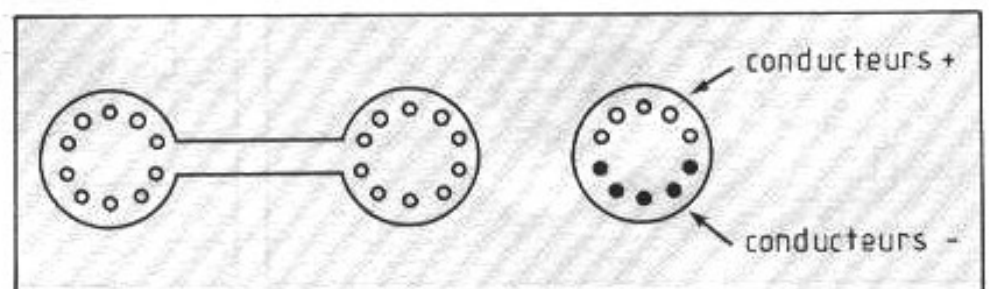


Fig. 14 : Câble réf. [1] et modèle Indigo d'Audioquest.

Des solutions existent : soit utiliser des isolants sans mémoire, comme le verre ou le Téflon, soit éliminer les charges piégées par dopage semi-conducteur des diélectriques. Après bien des années, on finit par comprendre le mode d'action du "Super Black" conducteur dont le dépôt sur les condensateurs et autres résistances s'avérait si efficace.

En ce qui concerne les câbles, quelle est la contrainte la plus grande : les contacts entre brins ou la mémoire des isolants ?

• Pour les câbles de haut-parleurs à niveau élevé, nul doute que la dégradation maximale du signal est obtenue par des contacts erratiques entre brins, avec le sentiment très net d'augmentation de la distorsion à partir d'un certain niveau ; la solution évidente consiste à utiliser des fils massifs isolés de  $\varnothing < 0,6$  mm. La tâche peut s'avérer difficile s'il faut reprendre le câblage interne des amplis, enceintes et autres... Mais l'Audiophile pur et dur n'est pas du genre à reculer là où l'industriel hésite...

• Pour les câbles de modulation et câble HP à bas niveaux, c'est l'effet de mémoire des isolants qui prédomine. Celui-ci agit de façon très similaire à la distorsion thermique : des charges piégées lors des fortissimi vont être libérées pendant les pianissimi, avec un souverain mépris de l'oreille de l'auditeur. Elles se traduisent par une distorsion de phase aléatoire, sorte de jitter tout à

fait semblable à celui dénoncé dans l'audi-numérique mal élaboré...

En matière de Haute-Fidélité, on montre une fois de plus que le problème n'est pas là où l'on pense le trouver : les 3 % de distorsion d'un 300 B sont bien plus musicaux que les 0,0001 % d'un câble mal conçu, qui va faire sauter les électrons d'un brin à l'autre et dont l'isolant va piéger et libérer des charges au gré de sa fantaisie (de tels câbles existent, hélas, même chez des constructeurs réputés...).

Pour conclure, nous pouvons dire qu'il est bien satisfaisant pour l'esprit de voir qu'une théorie (qui n'est après tout qu'un choix raisonnable d'hypothèses...) se trouve confortée par un ensemble de résultats pratiques plus que satisfaisants..

## Bibliographie

[1] P. Johannet "Les câbles : la fin du mystère ?" *L'Audiophile* n° 23 février 93.

[2] B. Gross "Electret Research - Stages in its Development" *IEEE Transaction on Electrical insulation* n° 3 juin 1986.

[3] E. Riaux "Contribution à l'étude des propriétés diélectriques du papier pour condensateurs" *Revue générale de l'Electricité* juillet-août 1966.

[4] Audioquest "Conception d'un câble : théorie et réalité" Europe Audio Diffusion, 89200 Mazamet.

[5] Ocos "La solution Ocos", distribué par Dynaudio.

[6] Fadel "Le câble corrigé" FAP, 3 rue du Champ Pillard, 77400 St Thibaud-des-Vignes.

[7] "Le livre blanc du câble Flatline" Pilote Films 33, rue Godefroy, 92800 Puteaux.

## REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier entre autres les nombreux lecteurs qui lui ont fait part de leurs expériences en matière de câbles et, en particulier, M. Philippe Guinic pour son aide décisive dans l'épineux problème de la mémoire des isolants.

## Annexe

### Modélisation du phénomène de mémoire dans les condensateurs

Le condensateur est mis sous tension pendant le temps  $t_1$ , puis en court-circuit pendant  $t_2$ . On cherche l'évolution de la tension à ses bornes à partir de  $t_2$ . On reprend comme temps origine  $t=0$  à cet instant.

Après  $t_2$ , la tension aux bornes de  $C_1$  s'écrit :

$$U_2 = E(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau_1}})e^{-\frac{t_2}{\tau_1}}$$

avec  $\tau_1 = R_1 C_1$

On étudie ensuite l'évolution de la tension aux bornes de  $C$ , la capacité  $C_1$  se déchargeant dans  $C$  et dans  $R$  à travers  $R_1$  ; tous calculs faits on obtient :

$$V = U_2 \frac{RC_1}{RC - R_1 C_1} (e^{-\frac{t}{R_1 C_1}} - e^{-\frac{t}{RC}})$$

qui est l'équation classique d'une onde bi-exponentielle.

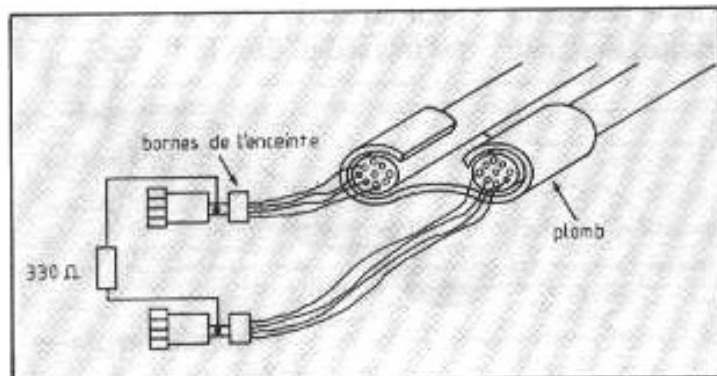


Fig. 15 : Morceau de plomb destiné à bloquer les vibrations du câble à la sortie de l'enceinte.

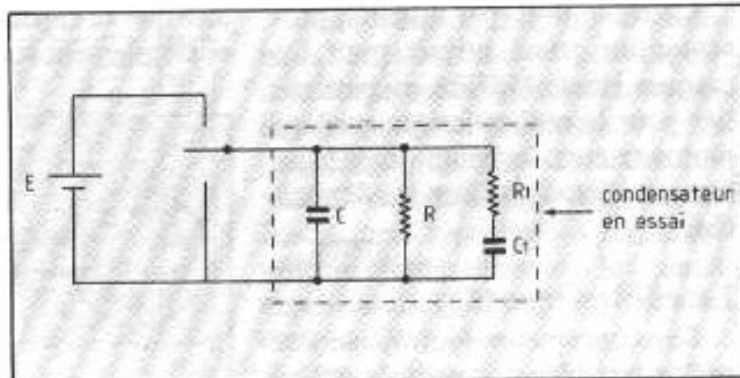


Fig. 16 : Mémoire des conducteurs : circuit d'essai

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**



# Point de repère

## L'amplificateur de puissance musical



Pierre Loyez

*L'amplificateur de puissance est l'organe chargé de fournir aux charges électroacoustiques que constituent les enceintes acoustiques ou les haut-parleurs l'énergie électrique requise pour l'obtention du niveau sonore souhaité par l'auditeur.*

En terme de musicalité, cette puissance délivrée (exprimée en watts) n'est pas une grandeur significative dans la plupart des situations rencontrées. Notamment, pour apprécier les performances réelles, c'est-à-dire, en fait, cerner les limites de fonctionnement (caractéristiques de surcharge), c'est souvent plus la caractéristique de tension ou d'intensité en fonction de la charge (exprimée en  $\Omega$ ) qui compte que la puissance proprement dite.

On demande à un amplificateur de puissance, en principe démuné de tout réglage (hormis quelques dispositifs, aujourd'hui rares, pour modifier l'adaptation en sortie : ajustement de l'impédance interne de sortie par exemple, ajustement du taux d'asservissement sortie/entrée, dosage des produits de distorsion, etc...), de ne pas modifier les caractéristiques de la source sonore du point de vue linéarité (absence de distorsion), bande passante, dynamique, temps de montée, bruit de fond.

C'est la caractéristique de distorsion qui prête encore aujourd'hui le plus à discussion, car si l'abaissement des impédances de travail des transistors ou des circuits intégrés a largement contribué à la réduction du bruit thermique, ainsi qu'à celle des effets parasites inductifs et électrostatiques en revanche, l'abus de la contre-réaction et l'accumulation de dérives en continu des étages amplificateurs sont responsables de défauts audibles, bien que souvent peu décelables en mesures.

### Tubes ou transistors

Ces caractéristiques de distorsion sont différentes pour les tubes et les transistors (fig.1).

Dans le cas des tubes, on peut admettre très souvent que la distorsion est due exclusivement à l'étage de sortie, et statuer que tous les harmoniques existent aussi bien dans l'amplificateur à contre-réaction que dans l'amplificateur sans contre-réac-

tion de même gain : dans cette hypothèse, les niveaux d'harmoniques à la sortie sont rigoureusement divisés par le taux de contre-réaction. Par exemple, si l'affaiblissement d'harmonique 2 intrinsèque du tube de sortie est de 40 dB (soit 1 %) et si on lui applique un taux de contre-réaction de 30 dB, l'affaiblissement d'harmonique 2 de l'amplificateur est de 70 dB (soit 0,03 %).

Pour les transistors, c'est beaucoup moins simple, car outre que l'analyse des phénomènes de non linéarité d'un transistor de puissance est complexe, presque toujours les étages qui précèdent l'étage de sortie apportent une contribution notable à la distorsion.

La distorsion de non linéarité d'un transistor dépend des conditions de polarisation, de la fréquence, de l'impédance de source et de l'impédance de charge.

En fait il existe au moins quatre sources de distorsion dans un transistor :

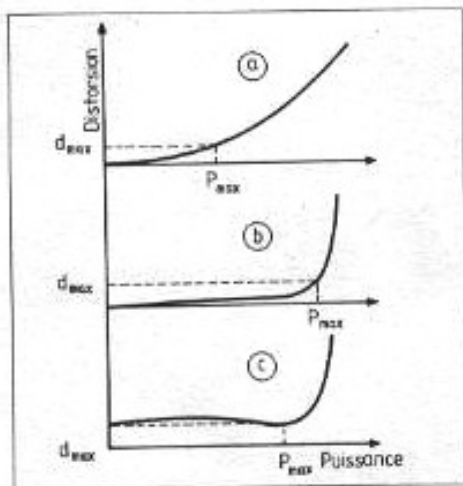


Fig. 1 : a) Amplificateur classe A à tubes sans contre-réaction  
 b) Amplificateur à tubes avec contre-réaction  
 c) Amplificateur à transistors classe B avec contre-réaction  
 Forme des caractéristiques distorsion/puissance pour les amplificateurs usuels, en régime sinusoïdal.

- la caractéristique de la jonction émetteur-base (diode en sens direct)
- la variation du gain avec le courant,
- la variation du gain avec la tension collecteur-émetteur (diode en sens non passant, c'est le phénomène d'avalanche),
- la variation de la capacité collecteur-base avec la tension qui lui est appliquée.

S'ajoutent à ces causes de dysfonctionnement une modulation thermique qui déplace le point de polarisation au rythme du signal modulant.

Suivant les valeurs des impédances et suivant les conditions de polarisation, ces sources de distorsion s'ajoutent ou se compensent, la compensation étant plus sensible pour les distorsions d'ordre 2 que pour l'ordre 3 (1).

A noter que, presque toujours, les conditions de polarisation qui correspondent au minimum de bruit de fond (rapport signal sur bruit maximum) sont défavorables du point de vue de la distorsion, ce qui explique que des étages d'entrées puissent engendrer une distorsion importante.

En résumé : les produits d'intermodulation fabriqués par des étages amplificateurs en cascade s'ajoutent ou retranchent partiellement selon des

lois compliquées, et tout ce mécanisme de compensation bouge avec la température et dans le temps. Il est donc toujours difficile d'établir une relation simple entre la distorsion intrinsèque des éléments constituant un amplificateur à transistors, le taux de contre-réaction, et la distorsion de l'ensemble. On peut seulement affirmer que pour un amplificateur stable correctement fabriqué, la linéarité (absence de distorsion) varie dans le même sens que le taux de contre-réaction appliqué. Ceci explique la meilleure prévision en terme de distorsion que connaissent les formules à tubes, pour la simple raison que la température de fonctionnement, et dans une large mesure le vieillissement, cessent d'être des paramètres critiques.

L'obligation qui est faite de recourir à la classe B pour les réalisations à transistors a fait apparaître une difficulté inconnue avec les tubes (montage en classe A ou AB) : la distorsion a tendance à augmenter aux bas niveaux. L'emploi de taux élevés de rétro-action n'a pas toujours les effets escomptés, car la distorsion est principalement liée à une commutation imparfaite des deux branches du push-pull de sortie. la dissymétrie des paramètres de transfert, le déséquilibre de capacités aux fréquences élevées, la dissymétrie des tensions d'alimentation, un courant de repos trop faible, sont autant de causes pour la génération d'harmoniques de rang élevé subjectivement mal res-

sentis par les auditeurs.

Cependant, par le choix judicieux de transistors à paires complémentaires et quelques réglages ou compensations bien étudiés (on choisit un point de fonctionnement voisin de la classe AB par augmentation du courant de repos), il est possible d'égaliser les meilleures réalisations à tubes (2).

## Résistances, condensateurs et connectique

Les composants passifs sont également sources de perturbations en régime musical, car certains modèles de résistances et de condensateurs "fabriquent" de la distorsion (en plus du bruit). Tel est le cas de résistances à couches de carbone, dites agglomérées, mais aussi de condensateurs bobinés ou à empilage mal shoopé (3) dont un soudage trop résistif conduit à des effets de redressement du signal, plus l'effet mémoire imputable à certains diélectrique polycarbonate, polystyrène (4). Certains modèles de condensateurs sont affectés en outre de vibrations mécaniques sous l'effet de contraintes électrostatiques, en raison de l'importance des charges qui transitent entre enroulements ou entre couches métallisées.

De même, des circuits imprimés insuffisamment étudiés peuvent être à l'origine de distorsions ou de couplages diaphoniques prenant sou-

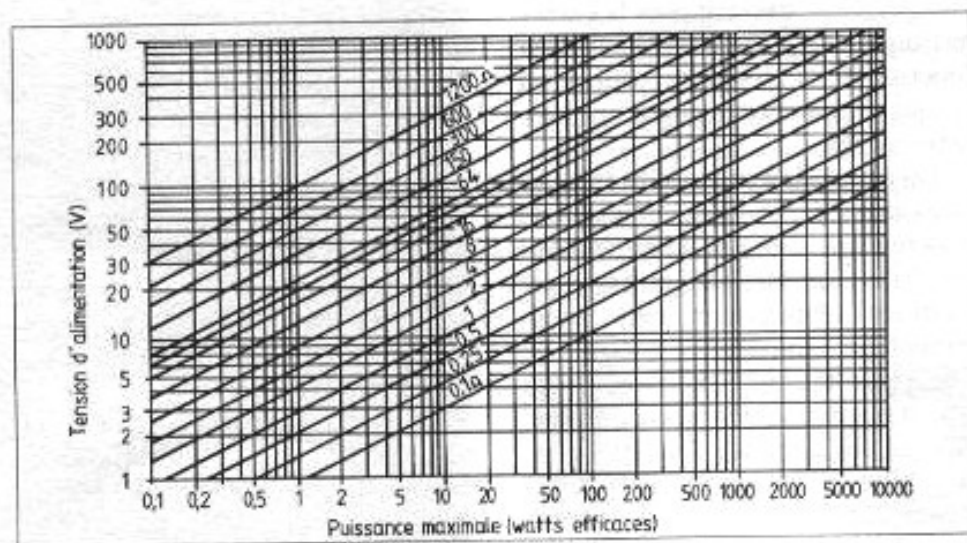


Fig. 2 Puissance maximale, efficace théorique, en onde sinusoïdale, d'un amplificateur classe B à alimentation série, en fonction de la résistance de charge et de la tension d'alimentation.

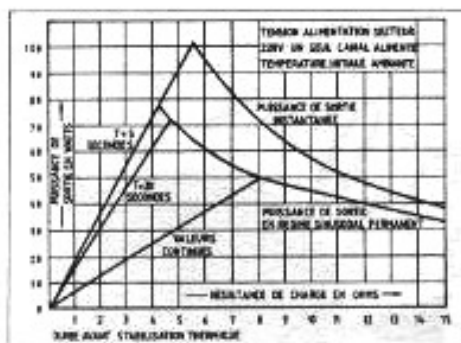


Fig. 3a) (d'après Quad) La puissance de sortie est circonscrite à l'intérieur d'une zone délimitée par le courant maximum de l'étage de sortie et par la tension maximale délivrée par l'alimentation. Cette plage de fonctionnement dépend du temps qui s'écoule avant stabilisation thermique (T).

vent naissance dans le circuit de masse, notamment lorsqu'un circuit est commun à l'étage de puissance et aux étages d'entrée.

Ainsi, l'analyse rationnelle des performances chiffrées à partir des mesures classiques en régime stationnaire (signaux sinusoïdaux) reste incapable de représenter, ni même d'expliquer, le comportement en modulation réelle, avec un récepteur humain n'ayant aucune des caractéristiques de l'environnement de mesure.

## Puissance de sortie

Pour la majorité des étages de sortie (push-pull classe B à alimentation série), la puissance alternative théorique à pleine modulation est donnée par la formule :

$$P_s \text{ max} = \frac{(V_{\text{alim}})^2}{8 R \text{ (charge)}}$$

P = (watts efficaces) puissance,  
V = (volts) tension d'alimentation,  
R = (ohms) résistance de charge.

Compte tenu, d'une part, des limitations en courant de crête qu'imposent les technologies actuelles des transistors pour audiofréquence (on dépasse rarement 10 A à 15 A), d'autre part, de la plage des impédances d'adaptation (4 à 16 Ω, rarement 2,5 Ω), il est évident que les très hautes puissances ne peuvent être obtenues que par l'élévation de la tension d'alimentation. La figure 2 montre que des puissances de l'ordre de 100 W sur 8 Ω (valeur moyenne

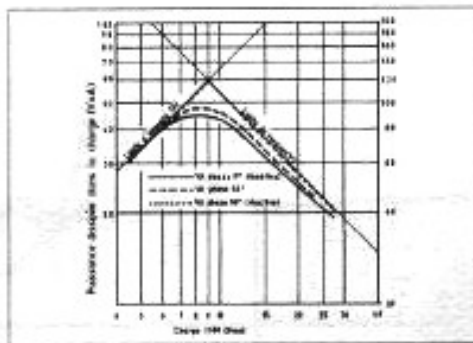


Fig. 3b) En technologie à tubes comme à transistors, la puissance maximale varie avec la charge, rarement assimilable à une résistance.

d'adaptation pour haut-parleurs à haute-fidélité) ne peuvent être atteintes qu'en dépassant 70 V - soit, pratiquement, 80 à 90 V pour tenir compte d'une perte de rendement due aux tensions de déchets. De telles tensions sont actuellement mal supportées par des transistors du type grand public sans protection particulière.

## Maintenance et dépannage

Les caractéristiques dynamiques des semiconducteurs sont très dispersées, en dépit des soins accordés à la surveillance de tout le processus de leur fabrication. En particulier, leur paramètre essentiel (gain en courant) s'inscrit, pour une fabrication donnée, dans une très large fourchette de tolérance (jusqu'à 50 %, alors qu'on dépassait rarement 10 % sur la pente des tubes). Il en résulte une grande difficulté d'obtenir une parfaite reproductibilité des performances sur une chaîne de fabrication de série. En outre, toute intervention à l'occasion d'un dépannage par exemple, avec échange standard des transistors, cesse d'offrir, comme avec les tubes, la garantie qu'on retrouvera les performances initiales. Pour pallier ce défaut, la plupart des constructeurs prévoient aujourd'hui des montages dont les performances d'ensemble sont peu affectées par les caractéristiques intrinsèques des éléments actifs (par l'emploi systématique de rétroaction, par exemple), ce qui justifie aujourd'hui la multiplication du nombre de ces éléments (association des transistors par 2 ou par 3) afin d'obtenir des marges de sécurité confortables, autorisant

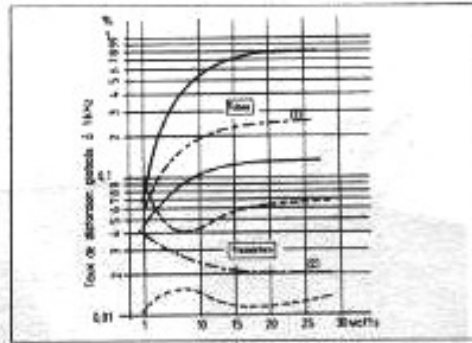


Fig. 3c) La caractéristique de distorsion par harmonique est en général plus favorable avec les techniques à transistors, mais seulement en régime de mesure sinusoïdal (voir Audiophile N°9 - Tubes et musicalité).

même le remplacement de certains transistors par des types voisins, mais non strictement équivalents.

A défaut de pouvoir identifier aujourd'hui toutes les causes de trahison (non linéarité d'amplitude et de phase), diaphonie entre canaux droit et gauche, instabilité du repérage spatial, effets de masque divers), force est de s'en remettre aux avis d'experts, à la condition d'avoir pris connaissance des processus opératoires qui ne soient pas trop éloignés de ceux du particulier lors des écoutes critiques.

En l'absence de toute référence à l'écoute subjective, l'acquéreur d'un équipement doit pouvoir apprécier, en dehors des caractéristiques qui ne posent plus problème aujourd'hui (bruit de fond ou rapport signal/bruit, bande passante, impédances aux accès d'entrée ou de sortie, temps de montée, amortissement de la charge:

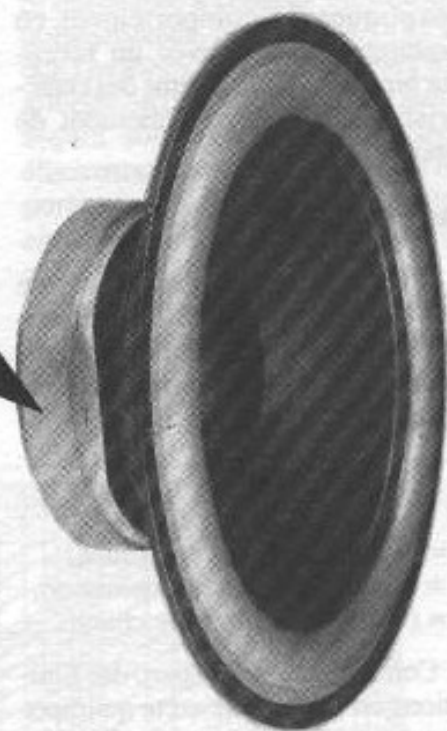
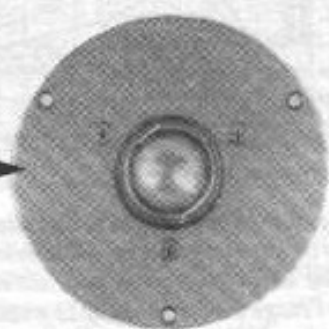
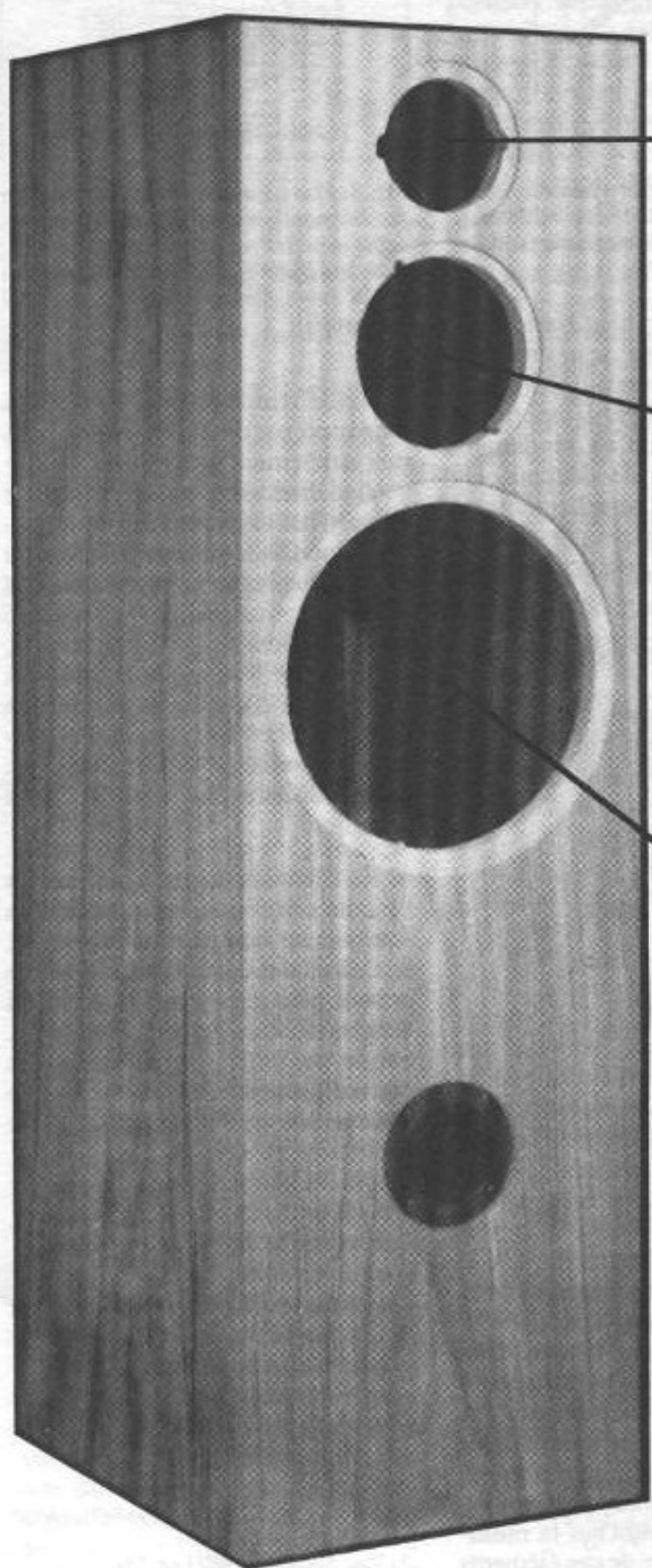
- la tenue en surcharge (voir figure 3a),
- la caractéristique d'adaptation (voir figure 3b),
- la caractéristique de distorsion (voir figure 3c),
- la caractéristique de stabilité thermique (évaluation du temps qui s'écoule avant d'atteindre l'équilibre des points de polarisation).

(1) voir Audiophile N°9 (p.53 et 147) et N°10 (p.67 et suivantes).

(2) Voir Audiophile N°11 (p. 53)

(3) le shoppage est l'opération de soudage des extrémités des empilages pour mise en parallèle de sections unitaires.

(4) Voir Audiophile (article Pierre Johannet)



Faint, illegible text at the bottom of the page, possibly bleed-through from the reverse side.

# Réalisation personnelle.

## KIT ENCEINTE ACOUSTIQUE DSA (SUITE)

**N**

*Charles-Henri Delaleu*

*ous abordons aujourd'hui la réalisation de l'ébénisterie, dans le prochain numéro nous décrirons le filtre et les différentes petites astuces de cette réalisation.*

Le kit DSA aurait dû être achevé dans ce numéro, mais la complexité du filtre nous a amené à prendre plus de temps que nécessaire afin de peaufiner les caractéristiques de cette enceinte. Le filtrage du haut-parleur de médium HM 130 Z0 Audax nous a posé un certain nombre de problèmes. Ce haut-parleur est extrêmement sensible en impédance. La moindre variation provoque des écarts très importants de la courbe amplitude/fréquence.

### **Le CA25 FEY/DD**

Nous avons placé ce transducteur dans sa charge acoustique qui est de type bass-reflex dont le volume est séparé en deux parties par une résistance acoustique ayant pour but d'obtenir un amortissement idéal.

Afin de trouver la meilleure fréquence de coupure nous avons réalisé une courbe amplitude/fréquence dans l'axe, à 15°, puis à 30° (figures 1 et 2). Il n'y a pas de perturbations notables hors de l'axe. Nous choisissons comme fréquence de coupure 500 Hz. La courbe d'impédance (figure 3) nous confirme nos investigations effectuées dans l'article précédent, avec un volume de charge nous obtenons bien une fréquence de coupure dans le bas du spectre de 44 Hz à -3 dB. Le réglage de l'évent a été effectué en tenant compte de la résistance de la self qui sera utilisée dans le filtre de ce haut-parleur. La longueur de cet évent est égale à l'épaisseur de la paroi soit 22 mm, et son diamètre est de 70 mm.

### **Le HM 130 Z0**

Lors de nos premières investigations, nous avons écouté un certain nombre de haut-parleurs entre 10 et 15 cm afin de choisir celui qui nous donnerait de meilleurs résultats. Le HM 130 Z0 nous avait séduit par ses nombreuses qualités mais nous n'avions pas apprécié sa tendance à légèrement projeter le son. Afin d'éviter ce désagrément, nous avons décidé de supprimer l'ogive dont il est équipé. Cette ogive a été remplacée par un cylindre de feutre (figures 4 et 5). La courbe amplitude/fréquence a été effectuée dans différents axes afin de déterminer la fréquence de coupure haute maximum autorisée. Au vu des résultats, nous optons pour une fréquence de coupure à 500 Hz dans le bas et 3 kHz

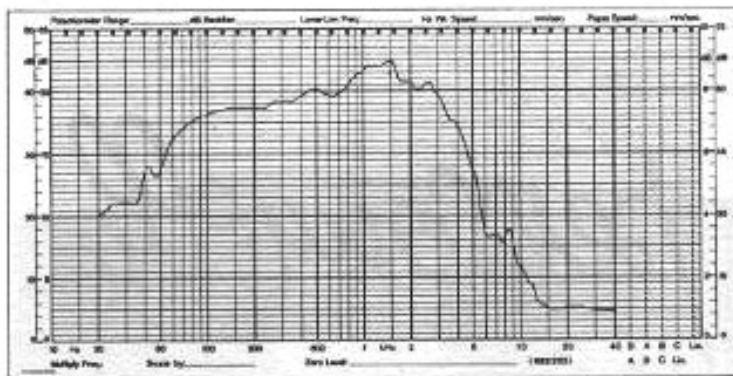


Fig. 1 : Courbe amplitude/fréquence du CA25FEY/DD mesurée en pression le micro est placé à 5 cm de l'équipage mobile. Le haut-parleur est placé dans sa charge acoustique.

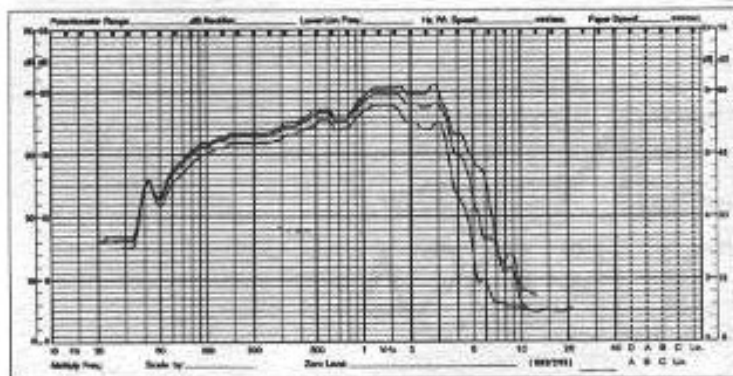


Fig. 2 : Courbe amplitude/fréquence du CA25FEY/DD relevée à 50 cm dans l'axe, à 15° puis à 30°.

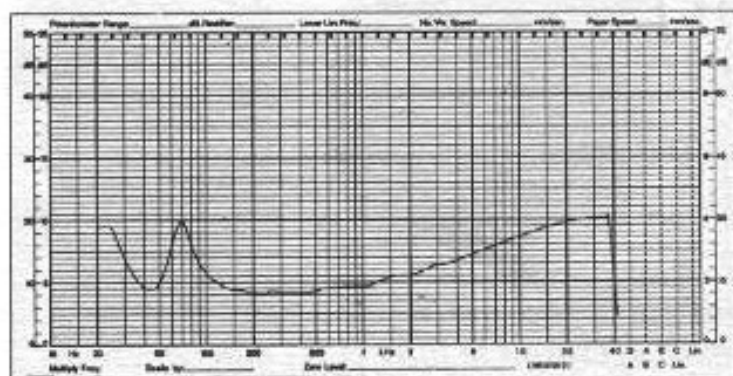


Fig. 3 : Courbe d'impédance du CA25FEY/DD : l'évent est accordé lorsque les deux bosses qui caractérisent une enceinte bass-reflex sont de même amplitude. Cet accord est obtenu en modifiant la longueur de l'évent. Lors de ce réglage, il convient de brancher sur le haut-parleur le filtre qui l'équipera. En effet, chaque élément branché en série modifie les caractéristiques de résonance du haut-parleur.

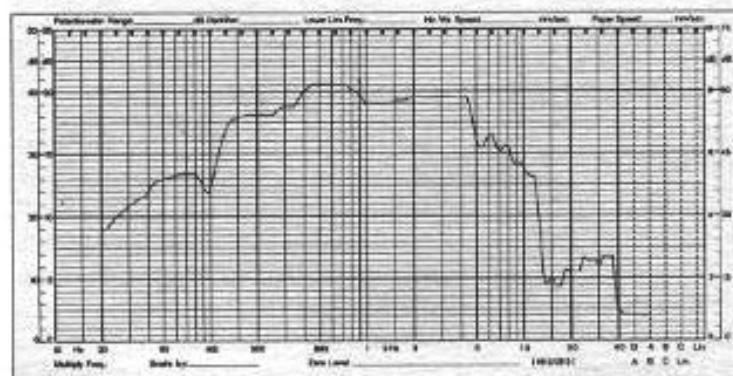


Fig. 4 : Courbe amplitude/fréquence du HM130Z0 d'origine, courbe relevée à 5 cm.

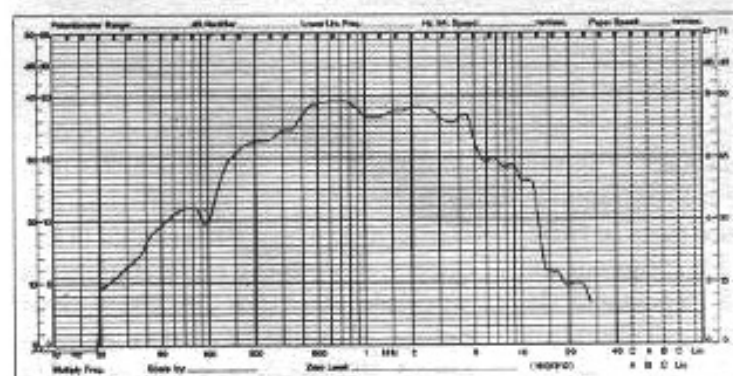


Fig. 5 : Courbe amplitude/fréquence du HM130Z0 modifiée, courbe relevée à 5 cm. Dans ce cas, l'ogive qui équipe d'origine ce haut-parleur a été supprimée. Afin d'éviter toute dépression acoustique néfaste par le volume laissé vacant par l'ogive, nous avons placé un petit cylindre en feutre en lieu et place.

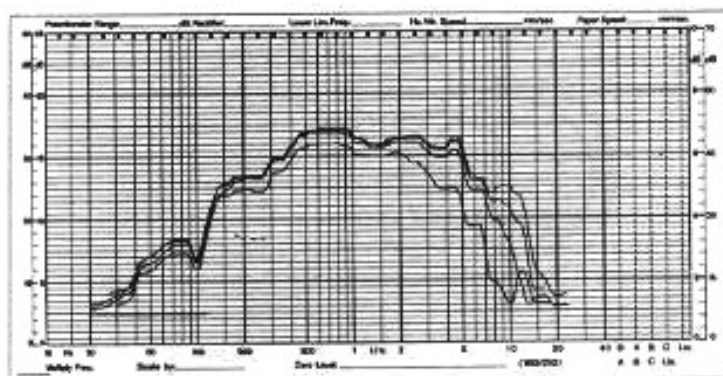


Fig. 6 : Courbe amplitude/fréquence du HM130Z0 relevée à 50 cm dans l'axe, à 15°, à 30°, à 45°. Aucun accident hors de l'axe n'est à mentionner.

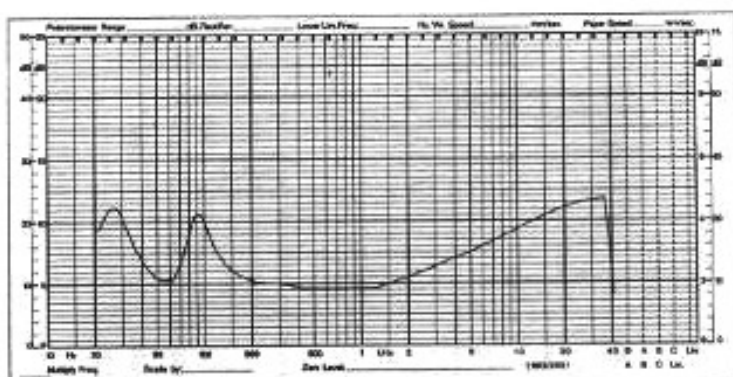


Fig. 7 : Courbe d'impédance du HM 130 Z0 placée dans sa charge acoustique. L'accord a été trouvé pour une longueur d'évent de 20 cm.

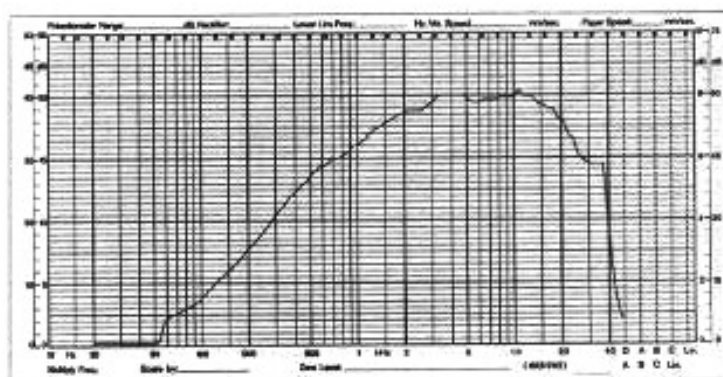


Fig. 8 : Courbe amplitude/fréquence du D 260 relevée à 5 cm.

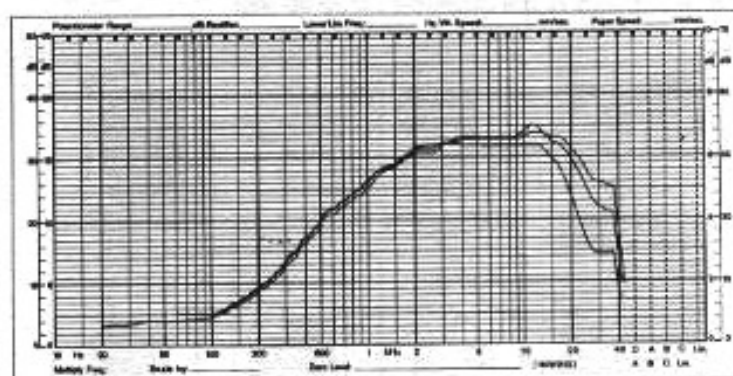


Fig. 9 : Courbe amplitude/fréquence du D 260 relevée à 50 cm dans l'axe, à 15°, et à 30°. Aucun accident hors de l'axe n'est à mentionner.

pour le haut du spectre (figures 6 et 7). Ce haut-parleur est monté dans une enceinte séparée du volume principal dont la charge est de type bass-reflex. Afin d'éviter tout problème de diffraction, nous placerons l'évent (longueur 200 mm, diamètre 40 mm) sur la façade arrière dans l'axe du haut-parleur.

### Le D 260

Rien de particulier en ce qui concerne le D 260 pour sa charge acoustique, en effet ce dernier possède un résonateur placé à l'arrière du noyau qui lui sert de charge acoustique. Les mesures amplitude/fréquence dans l'axe, à 15° et à 30° ne montrent aucun défaut (figures 8 et 9).

### L'ébénisterie

L'enceinte acoustique sera réalisée entièrement en Médite de 22 mm d'épaisseur (caisson de médium compris). Le volume principal sera divisé en 1/3 - 2/3 par une résistan-

ce acoustique placée juste sous le boomer. Cette résistance acoustique a un double but. Elle permet d'optimiser l'amortissement du haut-parleur de grave et de rigidifier l'enceinte. Dans le même but, le caisson du médium sera construit entre la face avant et la face arrière, ceci dans un but de rigidité maximum (voir figure 10).

Sur les figures 11, 12 et 13, nous avons précisé les découpes à effectuer pour chacun des haut-parleurs. Afin d'obtenir une courbe amplitude/fréquence la plus droite possible, il est obligatoire de bien respecter la profondeur de chacun des emboîtements (un emboîtement est la découpe effectuée sur la façade avant afin que le haut-parleur affleure).

### Détail 1

Le caisson qui forme la charge acoustique du haut-parleur de médium Audax HM 130 Z0 est réalisé à partir de quatre planches mon-

tées en pression entre la façade avant et la façade arrière. La paroi inférieure a une forme en croix qui permet de réaliser un renfort entre les côtés droit et côtés gauche de l'enceinte. Les cotes intérieures de cette charge sont 130 mm x 130 mm sur une profondeur de 136 mm. L'évent d'accord du bass-reflex est placé dans l'axe du transducteur et débouche sur la façade arrière. Les détails de fabrication de ce caisson sont précisés figures 14 et 15.

### Détail 2

Comme nous l'avons mentionné au début de cet article, nous avons placé une résistance acoustique sous le haut-parleur de grave. Cette dernière est réalisée dans une planche de médium de 22 mm d'épaisseur sur laquelle nous avons percé 12 trous d'un diamètre de 40 mm (figure 16).

### Amortissement mécanique

L'utilisation d'un matériau de type médium permet d'obtenir une

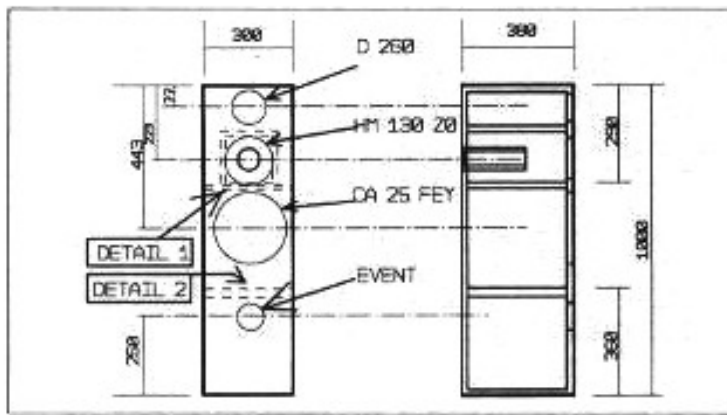


Fig. 10 : Plan sommaire de l'enceinte, noter la position des différents éléments. La longueur de l'évent du boomer est de 22 mm et son diamètre est de 70 mm. La longueur de l'évent du médium est de 200 mm et son diamètre est de 40 mm.

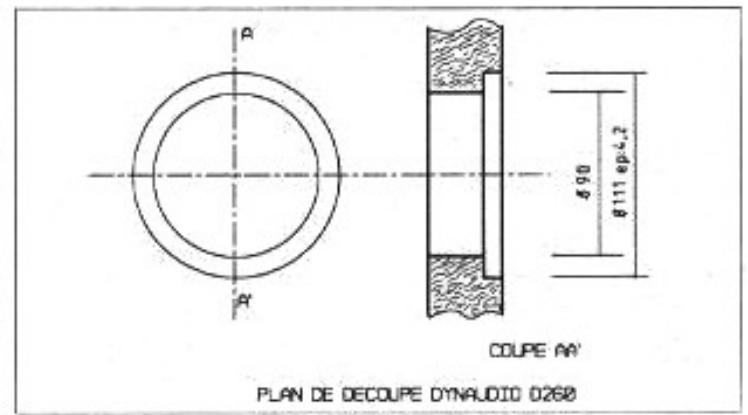


Fig. 11 : Plan de découpe de la façade avant pour le tweeter Dynaudio D 260.

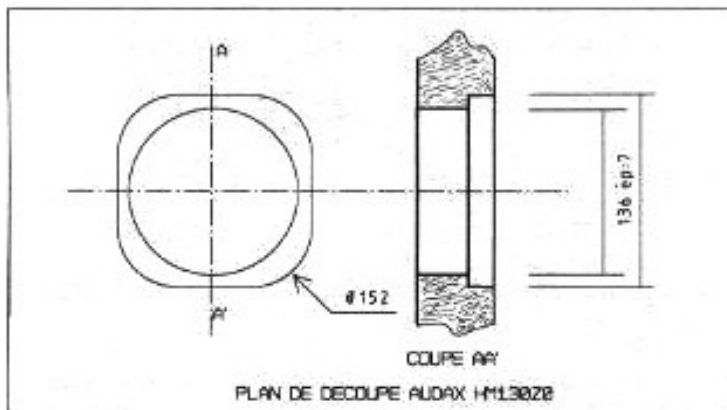


Fig. 12 : Plan de découpe de la façade avant pour le médium Audax HM 130 20.

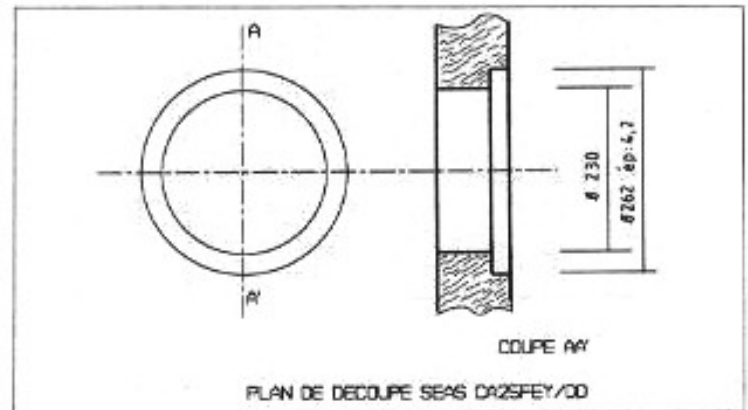


Fig. 13 : Plan de découpe de la façade avant pour le boomer SEAS CA25 FEY/DD.

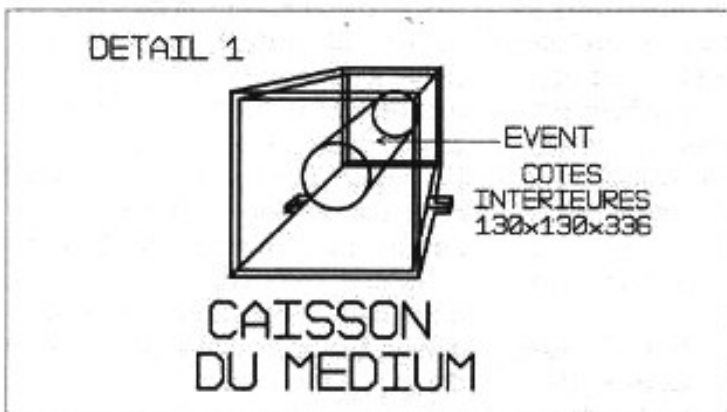


Fig. 14 : Vue en perspective du caisson faisant office de charge acoustique du haut-parleur de médium. Noter les 2 décrochés sur la planche du bas qui servent de tasseaux pour rigidifier les côtés droit et gauche de l'enceinte principale. Noter la position de l'évent qui débouche sur la façade arrière de l'enceinte principale.

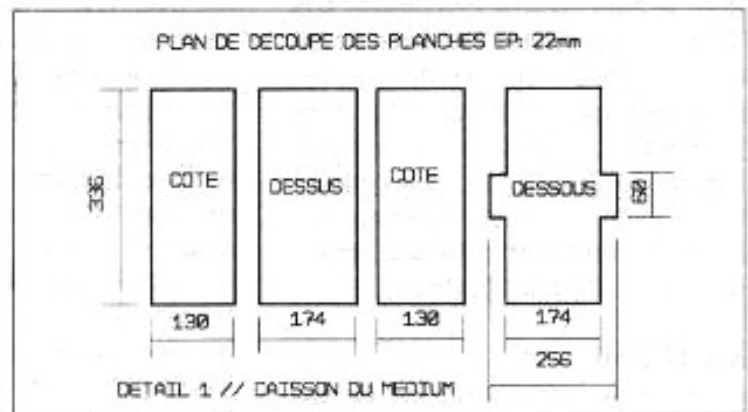


Fig. 15 : Détails et cotes des quatre parois qui confectionnent le caisson du médium. Noter la forme particulière de la planche formant le dessous. Les cotes internes de ce caisson sont 130 x 130 x 336 mm.

enceinte rigide et relativement amortie. Toutefois, dans le cadre d'une réalisation haut de gamme, cet amortissement mécanique peut être amélioré. Pour ce faire, nous avons placé sur les différentes parois de l'enceinte, exceptée la façade avant, un certain nombre de petites plaques de

bitume d'une épaisseur de 5 mm. Les dimensions unitaires de ces plaques sont 120 mm x 210 mm. A l'origine, nous avons utilisé des plaques auto-collantes. Le collage par ce procédé s'est avéré catastrophique. En effet, le médium possède une fine pellicule de poussière en surface qui

perturbe fortement le collage. Pour obtenir un collage de qualité, nous avons utilisé de la colle néoprène. Cette colle est une colle de contact. Il faut donc à l'aide d'un pinceau en déposer une pellicule sur l'enceinte elle-même et sur les plaques de bitume. Une fois la colle sèche au tou-



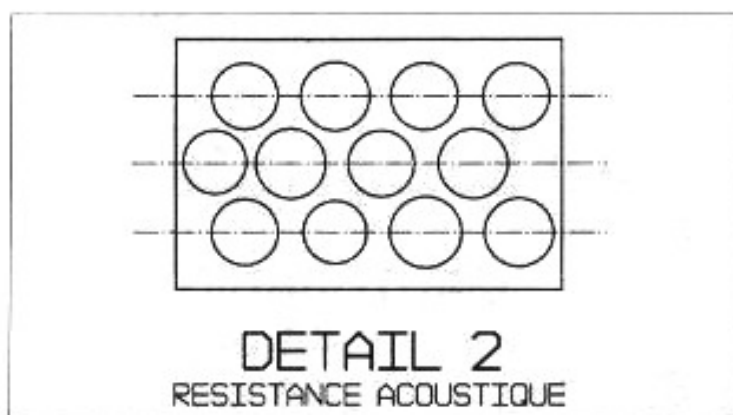


Fig. 16 : Représentation du filtre acoustique placé sous le boomer. Les cotes extérieures de ce filtre sont 256 mm x 336 mm. Les 12 trous ont un diamètre de 40 mm chacun. Par la même occasion, ce filtre servira de renfort à l'ébénisterie générale.

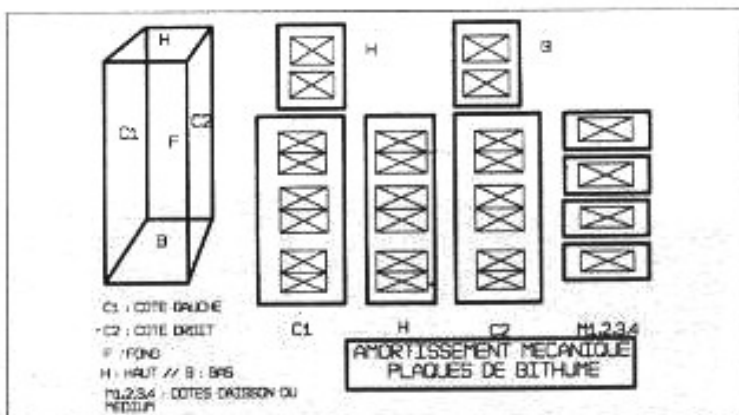


Fig. 17 : Amortissement mécanique. Pour ce faire, nous avons utilisé des plaques de bitume d'une épaisseur de 5 mm collées à la néoprène. Cette figure précise le positionnement de chacune des 26 plaques de 210 x 120 mm.

cher, il sera possible de placer les plaques de bitume sur l'enceinte. La colle néoprène dégage de fortes vapeurs qui peuvent être dangereuses pour les haut-parleurs.

Afin d'éviter toute déformation des membranes, il convient de laisser sécher les enceintes un ou deux jours avant le montage des transducteurs. Nous avons placé deux plaques de bitume (120 x 210 mm) sur le dessus et le dessous de l'enceinte, trois blocs de 2 sur la façade arrière et les deux côtés ainsi qu'une plaque sur chaque pan du caisson du médium. Ces plaques de bitume sont placées à l'intérieur pour ce qui est du volume principal, et à l'extérieur en ce qui concerne le caisson du médium. (figure 17)

### Amortissement acoustique

L'amortissement acoustique a été réalisé à partir de deux matériaux différents : la laine de verre pour le volume principal, le feutre pour le caisson du médium. La laine de verre possède un coefficient d'absorption bien meilleur dans l'extrême-grave. Le feutre est préférable pour les fréquences comprises entre 200 Hz et 2 000 Hz. La laine de verre utilisée a une épaisseur de 3 cm et sa densité est moyenne. Deux plaques ont été positionnées sur le côté droit, la façade arrière, et le côté gauche. Aucun amortissement acoustique ne sera placé sur la partie supérieure des côtés droit et gauche. Ceci a pour but de ne pas trop amortir le volume

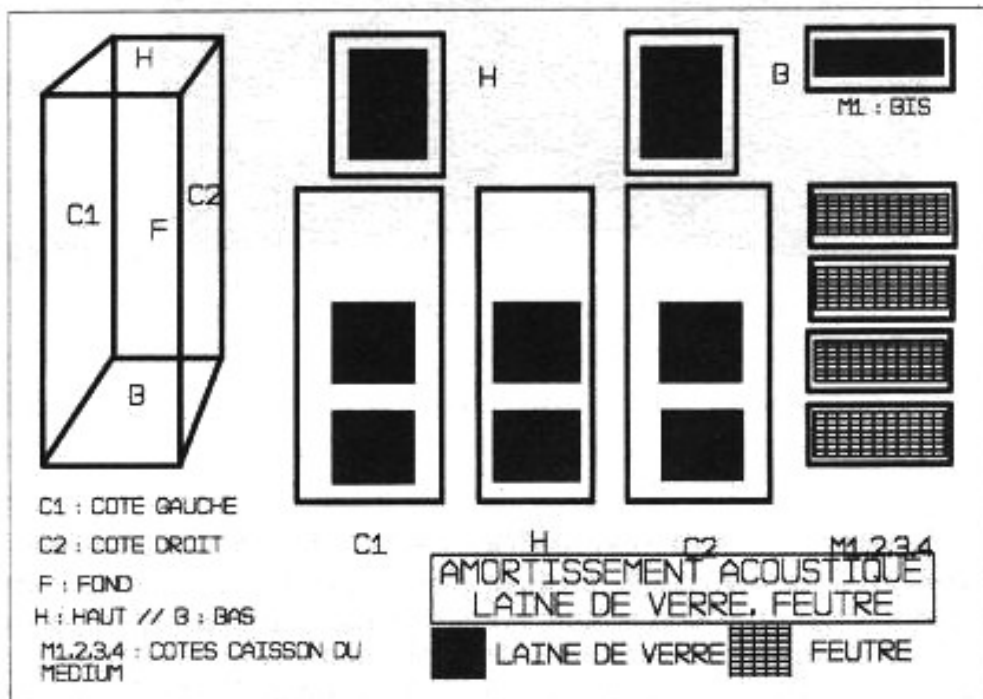


Fig. 18 : L'amortissement acoustique de notre kit DSA est réalisé à partir de plaques de laine de verre d'une épaisseur de 3 cm de densité moyenne et d'une plaque de feutre de laine d'une épaisseur de 15 mm et d'une densité moyenne. La planche notée M1 et M1 bis correspond au dessous du caisson du médium. Cette planche est amortie mécaniquement par une plaque de bitume à l'extérieur du caisson. Cette plaque de bitume est ensuite recouverte d'une plaque de laine de verre. L'autre côté de cette plaque (côté intérieur du caisson) est recouvert d'une plaque de feutre. Le volume d'air compris entre les côtés du caisson du médium et les côtés de l'enceinte principale est laissé vierge. Si nous plaçons de la laine de verre à cet endroit, l'enceinte principale serait trop amortie. Dans ces conditions, les deux plaques de laine de verre placées au centre de chaque côté de l'enceinte principale ne devront pas boucher le volume d'air.

compris autour du caisson du médium. Aucun amortissement acoustique ne sera placé sur la façade avant. Ne pas oublier de positionner une petite plaque de laine de verre sur le bas extérieur du caisson du médium. L'amortissement acoustique de ce dernier est réalisé à partir de feutre de laine de densité moyenne d'une épaisseur de 15 mm.

Il convient d'éviter de placer ce feutre trop près du haut-parleur afin de laisser dégager le volume qui se trouve à proximité de l'arrière de ce transducteur. (figure 18)

### Conclusion

Nous voici arrivés à la mise au point du filtre qui fera l'objet de notre prochain article.

**Page non  
disponible**

# QUID



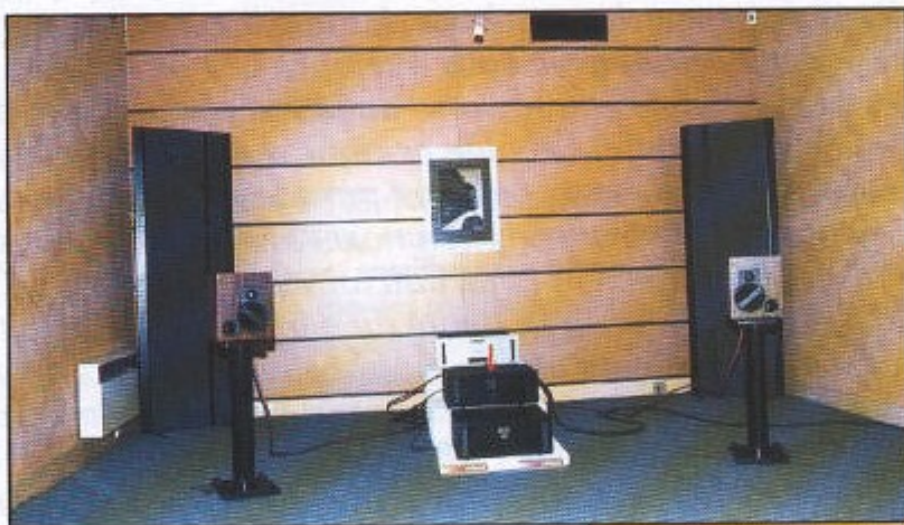
*e QUID ressemble un peu à un inventaire à la Prévert regroupant aussi bien des informations sur les auditoriums de l'hexagone que sur des matériels marquant par leur technologie, une évolution vers une esthétique sonore raffinée, transparente, stable. Au sujet des auditoriums, nous vous conseillons de mettre à profit vos vacances pour aller leur rendre visite en toute quiétude avec un état d'esprit ouvert et non stressé afin d'y découvrir d'autres manières de penser les systèmes, les mariages entre composants. Sachez aussi écouter, en emportant avec vous quelques CD ou disques noirs que vous connaissez bien et en orientant votre attention auditive sur des passages relativement brefs. En effet l'écoute critique doit être cartésienne dans ses jugements subjectifs. Cela peut paraître paradoxal mais ce que l'on englobe sous le terme générique de transcription musicale est en fait basé sur l'équilibre entre divers paramètres (souvent contradictoires techniquement parlant) tels que définition des petits signaux à la limite du perceptible, capacité dynamique, respect des timbres et de leurs attaques, étagement des plans sonores, pouvoir de séparation entre diverses informations musicales arrivant au même moment, cohérence générale, notions de rythme liées le plus souvent à une bonne articulation, entre les notes dans le grave, prolongement non tronqué de certaines notes tenues, caractère plausible des voix féminines et masculines, chasses aux colorations de boîtes ou de matières en particulier des membranes de haut-parleurs etc. N'oubliez pas aussi que l'écoute que vous effectuerez en auditorium vous donnera le résultat final de l'ensemble des maillons mis en fonction dans le système (câbles compris), mais qu'il existe toujours un paramètre que l'on oublie un peu trop souvent l'interface entre l'enceinte acoustique et le local d'écoute. Aussi une fois le système implanté chez vous les résultats peuvent différer dans certaines proportions et dans ce cas rien ne vaut, surtout pour des maillons très onéreux, une écoute à domicile. Vivez pleinement votre passion, on ne peut se passer de musique !.*



◀ **MAC INTOSH :** Le grand retour du Mc 275 avec la version en série limitée (60 exemplaires seulement pour la France) Commémorative. La nouvelle version de cette véritable légende de l'électronique à tubes dispose d'entrées symétriques et offre une musicalité envoûtante avec un pouvoir de définition nettement accru. Inoubliable !

▶ **AUDIOCLASS'A:**

Cet auditorium parisien propose une sélection représentative de matériels hautement musicaux, tout en suivant une politique de continuité au niveau des marques faisant place uniquement à celles qui ont fait leurs preuves, ayant un passé et un savoir faire incontestable. Parmi celles-ci : Audio Research, Mark Levinson, Mission, Theta, Magnepan, Adcom, Lynnfield, etc.



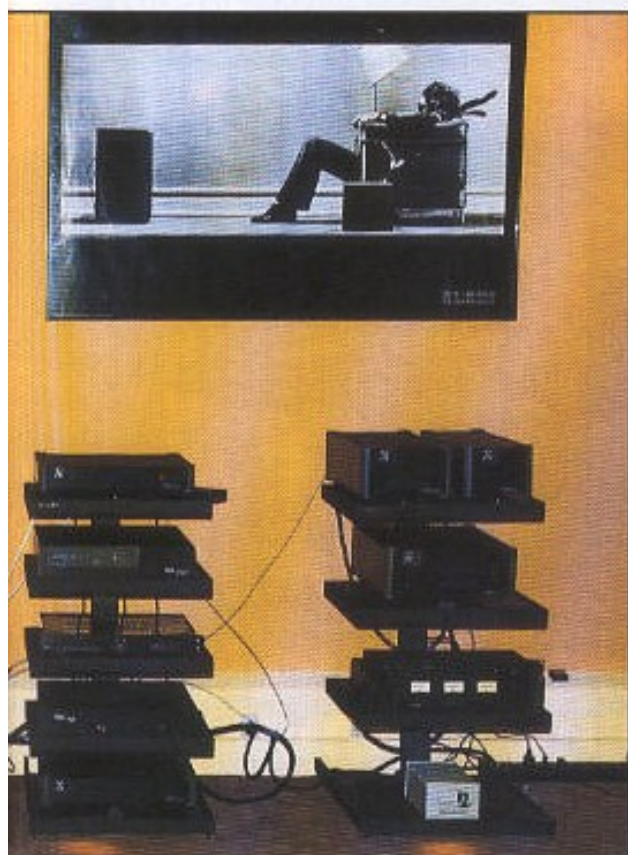
▶ **AUDIO CONCERT :** Cet auditorium parisien est animé par une équipe de jeunes passionnés plein d'expérience en matière de grand système à mettre en œuvre dans les meilleures conditions acoustiques, tels que les grands panneaux électrostatiques Audio Exclusive, les électroniques de pointe Gryphon, les convertisseurs numériques analogiques Wadia modèle 9.





◀ **WADIA :** Le transport 8 CD et le convertisseur modèle 15 apporte à l'écoute un naturel inouï grâce au parfait respect de l'ordre des harmoniques des timbres, de la phase, de la linéarité, de la définition sur les petits signaux qui procurent toute la sensibilité d'une interprétation. Le transport modèle 8 est équipé d'une mécanique spécifique VRDS qui maintient le disque sur toute sa surface pendant sa rotation. Le convertisseur 15 fait appel à un programme spécifique DIGIT MASTER qui calcule en permanence l'enveloppe du signal. A l'extrême pointe de la lecture et de la conversion numérique.

Le transport modèle 8 est équipé d'une mécanique spécifique VRDS qui maintient le disque sur toute sa surface pendant sa rotation. Le convertisseur 15 fait appel à un programme spécifique DIGIT MASTER qui calcule en permanence l'enveloppe du signal. A l'extrême pointe de la lecture et de la conversion numérique.



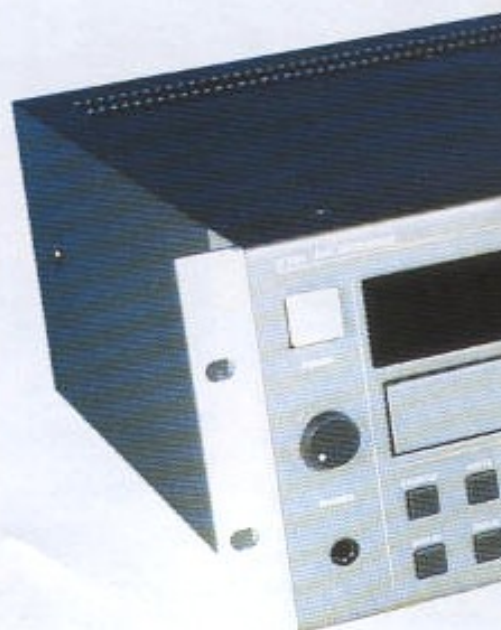
▲ **PRÉSENCE RIVE GAUCHE :** La patience de l'équipe de PRG est légendaire. Les conseils que prodiguent ces spécialistes sont basés sur une expérience enviable pour tirer le meilleur parti de mariage entre éléments en fonction d'un budget donné. Dans les divers auditoriums bien agencés on peut découvrir aussi bien des enceintes électrodynamiques que des panneaux électrostatiques en compagnie d'électroniques ultra-musicales.



◀ **AUDIOMECA :**  
La platine CD Méphisto a été réalisée par Pierre Lumé grand spécialiste de la table de lecture analogique. Il a appliqué, à cette platine CD, dont le chargement s'effectue par le dessus, les mêmes systèmes d'isolation contre les vibrations par voies solide ou aérienne. Le couvercle supérieur dispose d'un plateau palet presseur qui maintient parfaitement plan le disque CD en cours de rotation. L'écoute de cette platine est tout simplement sublime. A découvrir absolument.



▲ **EUROPEAN FIDELITY :** Patrice Bertolle ne ménage pas son temps ni ses explications pour faire passer sa passion de la musique et de la transcription dans toutes ces nuances. Son choix, bien raisonné, de matériels couvrant une large échelle de prix est aussi basé sur la passion du beau. Son auditorium mérite vraiment le détour, il n'est pas très facile à trouver au 2 rue Giffard 75013 Paris, mais il offre de très bonnes conditions acoustiques. Parmi les matériels présentés nous avons noté le MacIntosh MC275 Commémorative, le Marantz CD10, Le Stax DAC Talente, les Confluence Cantilène, l'Audiomate Prélude, les AHL Swan 1 et 2. Des écoutes à vous faire vibrer !





◀ **LYRIQUE** : Le sérieux de l'équipe, animée par Monsieur Lefèbvre, n'est plus à vanter. Cet auditorium parisien offre des écoutes sublimes de matériels choisis avec discernement. Ainsi, on peut écouter dans les meilleures conditions le tout nouveau lecteur CD Studer D 730 ainsi que le Luxman D-500X'S, les merveilleux Krell, Accuphase, Mac Intosh, Audio Research, Teac, California Audio Labs et les systèmes de haut-parleurs Cabasse, Confluence, Rogers, ainsi que les panneaux Magnepan et Apogee. Des écoutes bien menées qui font pleinement appréciées les interprétations.

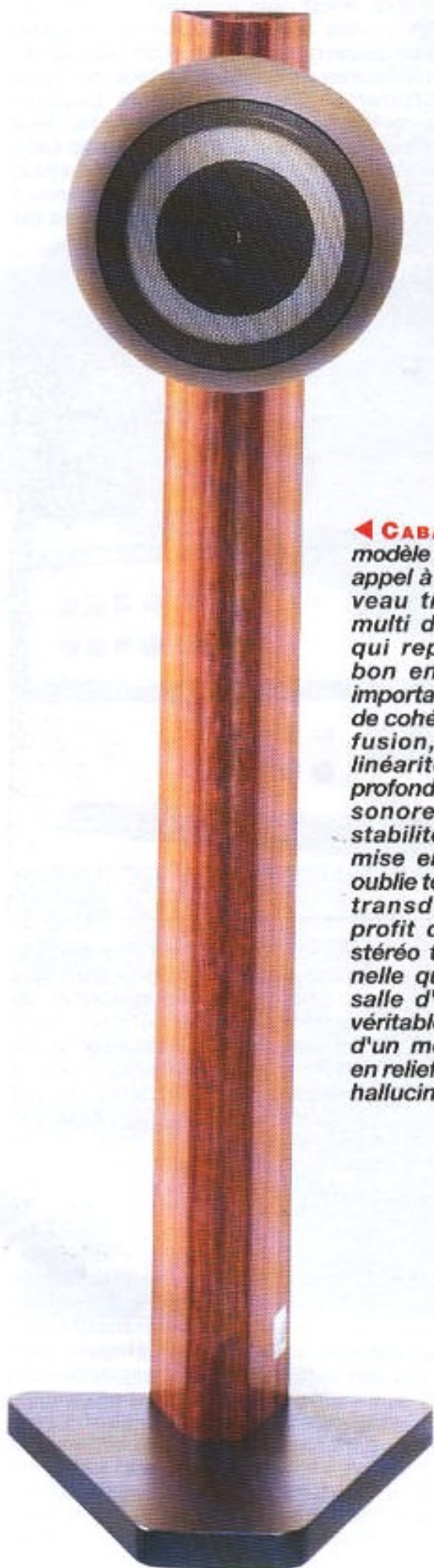


▲ **AURA** : La gamme des électroniques anglaises Aura se distingue par une transcription sonore de très grande transparence avec une ouverture permanente. La simplicité extérieure des produits révèle que les concepteurs ont été à l'essentiel au niveau des circuits afin d'extraire le maximum d'informations en respectant l'ordre des harmoniques, la phase, l'amplitude. Le lecteur CD AUC-50 reprend naturellement cette philosophie de simplicité et de transparence pour une restitution de haute définition se caractérisant par une aération permanente, des plans sonores qui s'étagent correctement dans l'espace, une musicalité évidente qui ne demande aucun effort d'intellectualisation de l'écoute. La lisibilité exceptionnelle de ce lecteur surprend d'autant plus que sa plage dynamique est très élevée. Sur le plan musicalité il peut concurrencer les plus grands pour un prix attractif.



**STUDER D 780** ◀

L'enregistreur DAT professionnel équipé d'un extraordinaire convertisseur qui sublime littéralement la musique. Cet enregistreur numérique sur cassette DAT a enthousiasmé les pros et les audiophiles par ses très hautes vertus musicales, qui se traduisent par un pouvoir de définition sur les petits signaux (jamais rencontré auparavant) et une capacité dynamique fulgurante. On peut utiliser la fantastique section de conversion avec un lecteur indépendant.



◀ **CABASSE** : Le modèle Baltic MC fait appel à un tout nouveau transducteur multi dôme coaxial qui représente un bon en avant très important en matière de cohérence de diffusion, neutralité, linéarité et surtout profondeur des plans sonores avec une stabilité jamais remise en cause. On oublie totalement les transducteurs au profit d'une image stéréo tridimensionnelle qui remplit la salle d'écoute. Une véritable découverte d'un monde sonore en relief, d'une vérité hallucinante.

▲ **AFFIRMATIF** : Depuis près de 10 ans, cet auditorium parisien propose une sélection d'excellents matériels haute fidélité d'occasion. Ils sont proposés avec les mêmes conditions de service et de garantie que pour les matériels neufs. Des écoutes comparatives ainsi que l'installation et l'optimisation de ces matériels sont proposées avec une garantie de 1 an ou plus. Mais Affirmatif c'est aussi une sélection de matériels neufs tenant compte du rapport qualité/prix en fonction de la musicalité proposée. L'expérience acquise depuis des années sur les matériels d'occasion assure un très bon jugement sur la pérennité des marques proposées, leur fiabilité, leurs possibilités de mariage dans le cadre d'un système équilibré. Un "auditorium différent", une équipe de passionnés, de vrais professionnels, qui prennent leur tâche avec sérieux au 4 rue Nicolas Charlet 75015 Paris.







► **PANASONIC :**  
 le lecteur DCC portable RQ-DB7 est arrivé. Ce lecteur DCC sous forme de baladeur tient dans le creux de la main et pèse moins de 500 g. ! Il a une autonomie avec les batteries incorporées rechargeables de 2 heures et demi. Il dispose d'un afficheur à cristaux liquide regroupant toutes les fonctions, dont le titre de l'album en toutes lettres. L'accès aux différentes pistes est ultra rapide. Une des caractéristiques les plus importantes est sa compatibilité avec les cassettes standard analogiques qu'il peut lire avec ou sans Dolby B. Ce "balladeur" numérique ouvre la voie de la grande diffusion des cassettes DCC enregistrées numérique ou de nombreux titres sont déjà disponibles tout en pouvant écouter aussi les cassettes analogiques.

▼ **SONY :** Le CD P-X700 ES est un lecteur CD adoptant le nouveau procédé à mécanique centrale avec séparation totale des sections analogiques et numériques. Il est équipé d'un nouveau filtre numérique dit "Score digital filter" à octuple suréchantillonnage développé par Sony éliminant les composantes de bruits de quantification. Cela se traduit par une écoute plus transparente ainsi qu'une localisation précise des interprètes dans l'espace. La base mécanique est en liaison avec un asservissement numérique qui ajuste en temps réel le courant nécessaire à la correction de lecture.



▲ **HAUTE DÉFINITION PVD :** Durant l'été présentation de matériels de très haute gamme dont certains en exclusivité nationale au sein de système parfaitement optimisé ainsi le drive CEC TL1 avec le convertisseur Jadis JS1, l'intégré Jadis DA60 et les enceintes acoustiques Energy AE1. Autre exemple, toujours le drive CEC TL1 en compagnie du convertisseur Audio Synthesis DSM Ultra Analog en compagnie de l'intégré étalon SL 781 et des Leedh Psyché avec câblage XLO. De même un autre système a été réalisé autour des électroniques Jadis (JPL/JPS2/DA7/JA80) sur les monitors Ensemble Référence (une exclusivité). Un programme complet de ces démonstrations est disponible. Faites un détour par Brive au 4 rue de la République vous ne serez déçu ni par les démonstrations ni par l'accueil qui vous sera réserver.



**Page non  
disponible**

# Activités des Constructeurs

## Motivations pour la création d'une ligne de câbles Haute Fidélité de très haute définition

Jean Mustapha Fadel

**P**

*our dérangeante que serait ma contribution à la conception et à la fabrication des câbles pour la haute-fidélité, elle n'est animée par aucun esprit de polémique : certaines aberrations commises dans ce domaine, de la part même de "câbliers" mondialement réputés, ne méritent pas qu'on s'y attarde*

Ma démarche a tenu compte de la quasi totalité des réalisations dans ce domaine qui, à mon sens, n'ont apporté qu'une partie de la réponse au problème posé par la transmission d'un signal musical entre deux maillons d'un système de reproduction de haute fidélité. En effet, le câble occupe une place particulière parmi les maillons d'un système de reproduction musicale et aussi, et surtout, dans les techniques de calcul et de fabrication de cet élément. Par la situation privilégiée de l'audition musicale, il est soit négligé ou sert à alimenter un commerce de dupes ou de charlatans. Il est négligé, entre autres, par les techniciens qui prétendent posséder le savoir technique et qui ne veulent ou ne peuvent pas s'imaginer qu'un bout de fil puisse influencer leur écoute musicale (pauvre, Musique) d'abord

parce que : en feuilletant leurs documents, ils ne retrouvent rien leur donnant l'explication de tel ou tel phénomène et se retranchent derrière des paramètres physiques en leur possession (pauvre, Physique) pour affirmer qu'ils sont négligeables à ces fréquences. En réalité, rien ne leur permet de dire, dans le savoir théorique communément diffusé ou acquit, quels sont les paramètres à mesurer.

Rien ne devrait permettre à ces mêmes techniciens de traiter de subjective la perception sonore de tout un chacun, dès lors qu'il s'agit de transmission musicale : domaine où souvent ils n'ont aucun point de repère.

Les rares fabricants de câbles de qualité mettent tout leur savoir et leur imagination pour justement essayer de déterminer ces paramètres, sans

perdre de vue que le but final est de transmettre un signal musical souvent très complexe. Le banc de mesure utilisé par MIT, lors du Festival du Son 1993, est la preuve flagrante qu'effectivement certains paramètres peuvent être visualisables. Mais que cela reste très insuffisant pour comprendre, en particulier, la différence auditive qui existe entre un câble et un autre de même technologie. Ce même appareillage est utilisé par notre Société pour l'étude et la mise au point de nos différents produits (Pont LCR HP 4284A ou 4291).

Pour aborder les vrais problèmes, le travail sur le câble est effectué sur cinq plans différents :

1- La recherche de la géométrie de la ligne de transmission

2- La qualité des matériaux utilisés

3- La mesure des paramètres connus et définis par notre démarche technologique

4- La correction, électronique, des câbles réalisés afin d'obtenir une ligne de transmission sans distorsion: donc sans pertes ni rotation de phase

5- L'écoute critique et musicale de ces réalisations.

## Recherche de la géométrie

Nous nous sommes donc attachés à rechercher la géométrie la plus propice pour réaliser un maillon de haute qualité en analysant toutes les fabrications effectuées dans ce domaine. Nous avons cru comprendre, dès le début de notre recherche, qu'il fallait mener quatre investigations parallèles : la structure d'un câble pour la modulation est littéralement différente d'un digital, d'un secteur ou d'un câble dédié à relier les enceintes à une unité de puissance.

Théoriquement et pour notre utilisation, il existe trois structures fondamentales de géométrie de câbles (Fig. 3) : la ligne à deux conducteurs parallèles (Fig. 4), la ligne coaxiale et la ligne à quatre conducteurs croisés. Nous allons découvrir leurs courbes d'impédance respectives et le calcul de leur capacité ( $C$  en pF/m), de leur impédance ( $Z$  en ohms) et de leur inductance ( $L$  en mH/m) par unité de longueur.

La figure 1 donne, en fonction du rapport  $D/d$ ,  $D$  étant la distance séparant deux conducteurs de diamètre  $d$ , la valeur de l'impédance caractéristique d'une ligne bifilaire. Sa valeur est :

$$Z = 276 \log (2D/d)$$

Son inductance est :

$$L = 0,921 \log (2D/d)$$

Sa capacité est :

$$C = 12,06 / (\log (2D/d))$$

Aussi, les équations pour une ligne à quatre conducteurs croisés sont les suivantes :

$$Z = 138 \log (\sqrt{2}D/d)$$

Son inductance est :

$$L = 0,46 \log (\sqrt{2}D/d)$$

Sa capacité est :

$$C = 24,1 / (\log (\sqrt{2}D/d))$$

Enfin, les équations de la ligne croisée sont comme suit :

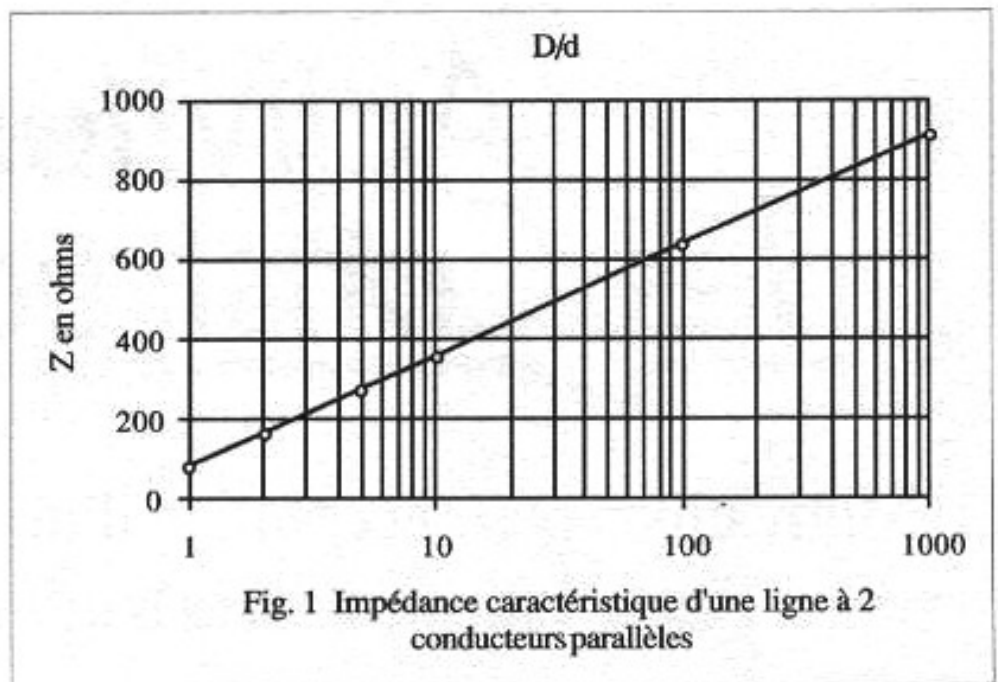


Fig. 1 Impédance caractéristique d'une ligne à 2 conducteurs parallèles

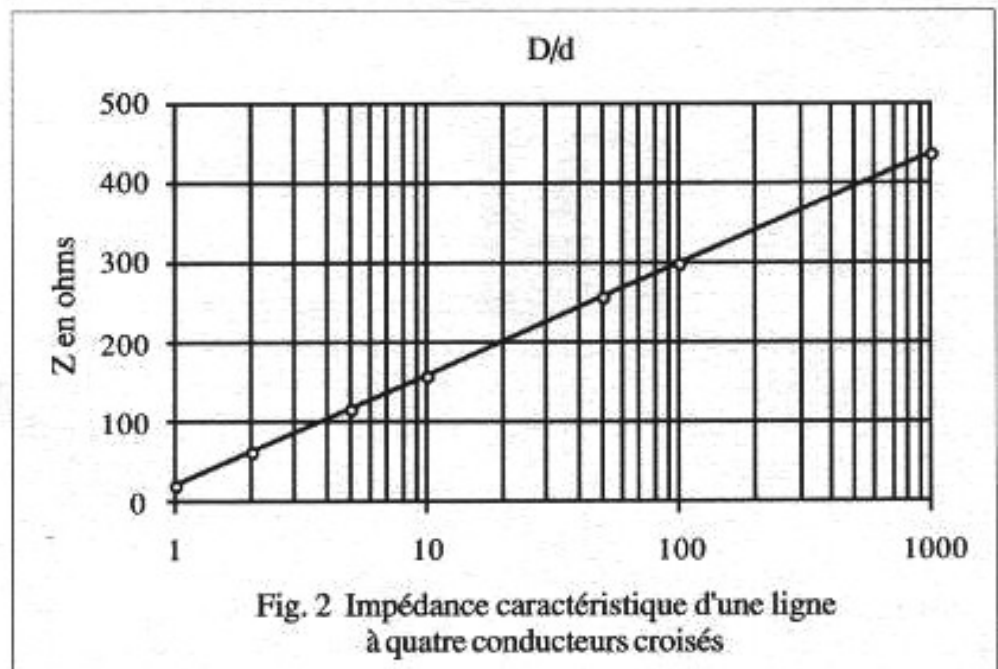


Fig. 2 Impédance caractéristique d'une ligne à quatre conducteurs croisés

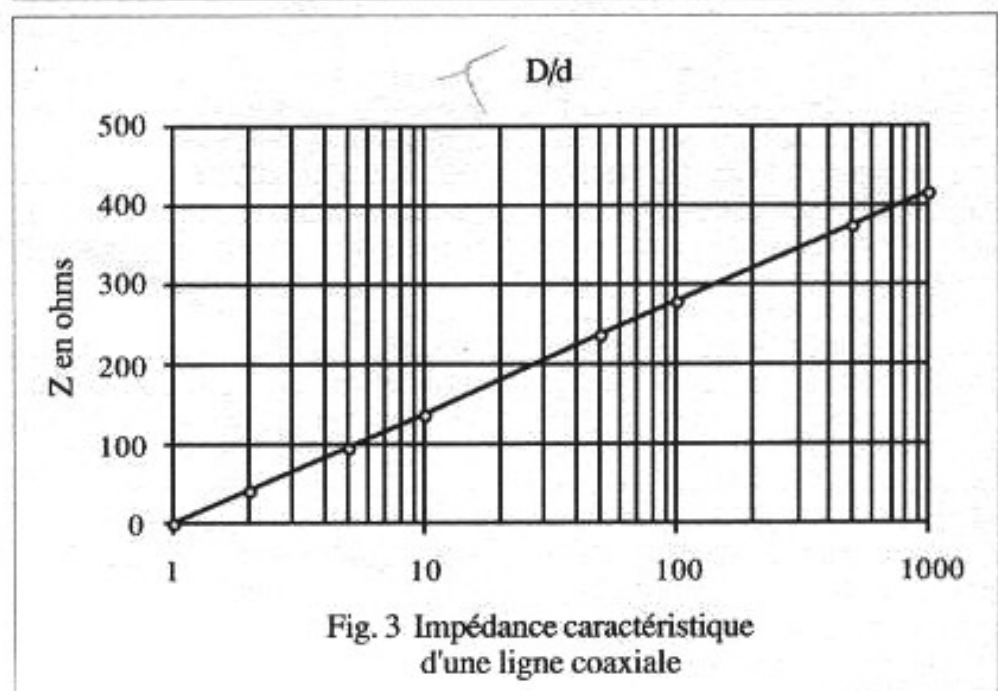


Fig. 3 Impédance caractéristique d'une ligne coaxiale

$$Z = 138 \log (D/d)$$

Son inductance est donnée par la formule suivante :

$$L = 0,46 \log (D/d)$$

Et enfin sa capacitance est donnée par l'égalité suivante :

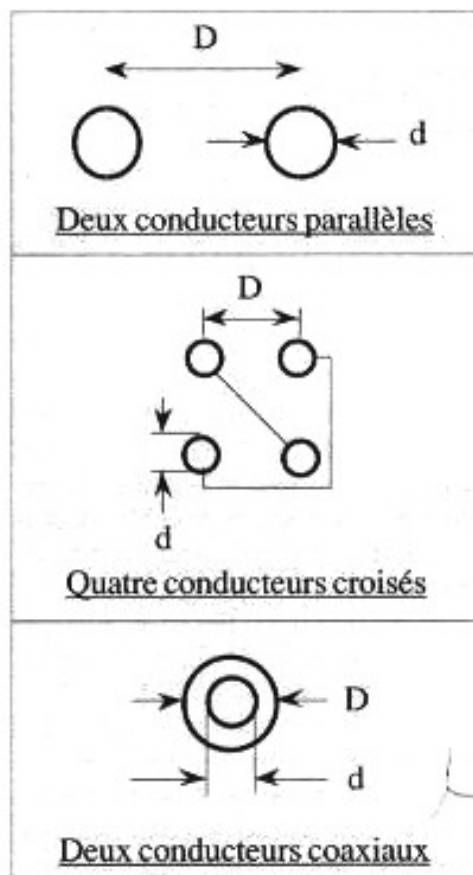
$$C = 24,1k_e / (\log (D/d))$$

$k_e$  étant un facteur dépendant de l'isolant utilisé. Il faut aussi préciser que ces formules ne sont valables qu'en ayant éliminé tout courant de Foucault en annulant l'effet de peau.

Il paraît donc évident, en analysant ces formules et leurs courbes respectives, que les géométries qu'elles engendrent ne conviennent pas, sans modification, à véhiculer un signal musical dans les meilleures conditions. L'impédance caractéristique d'un câble pour la modulation doit voir son impédance tourner autour de 1000 ohms environ et aucune des topologies existantes ne permet une réalisation "domestique" de ce maillon.

C'est pour toutes ces raisons que, depuis le début de notre recherche en matière d'industrialisation de câbles en 1986, nous sommes persuadés que, la seule façon de résoudre ces problèmes, est de corriger ces maillons après avoir opté, après de sévères écoutes musicales, pour la topologie à deux conducteurs parallèles : seule géométrie à offrir aux signaux + et - des trajectoires identiques.

Par ailleurs, la configuration à quatre conducteurs croisés est la seule immédiatement exploitable. En effet, en faisant  $D = d$ , en choisissant des diamètres convenables pour les conducteurs et en résolvant le problème de l'isolement, on obtient une impédance caractéristique de 20 ohms. Cette topologie est donc convenable pour réaliser un câble HP, utilisé en petites longueurs vu la forte capacité que procure cette architecture. Mais le problème qui nous occupe n'est pas simple à démêler : résoudre le problème de l'impédance, en utilisant cette topologie, engendre un autre ennemi de la transmission sonore. En effet, en présence de forts signaux, l'effet de proximité est suffisamment important pour créer de la distorsion par



intermodulation. Aussi, l'état actuel de nos recherches nous permet de dire que, pour la réalisation d'un câble secteur de haute qualité, cette géométrie est aussi utilisable. Tout donne à penser que pour ce maillon, une très forte capacité est requise. En choisissant un conducteur de forte section en fil de Litz et un isolant adapté, les câbles de puissance utilisant cette technologie sont les seuls actuellement à procurer, à l'audition, des résultats convenables et immédiatement perceptibles par l'auditeur.

### Les matériaux utilisés

Le choix des isolants est l'un des problèmes les plus simples à résoudre. Le téflon, le téflon modifié, à notre demande, par l'incorporation de particules magnétiques, et enfin l'air sont les isolants que nous avons choisis pour nos différentes réalisations. L'effet de mémoire de ces isolants est pratiquement négligeable ou nul et le rodage des câbles ainsi réalisés s'effectue en deux ou trois heures d'utilisation de ceux-ci. En tout cas, dès que la technique nous le permet, l'air est le seul isolant qui nous procure des écoutes

musicales sans coloration. Les câbles de la série DC 10S, 20S, DG One et le très prochain câble pour HP, à topologie et aspect "futuriste" et original : "The Streamline", sont construits selon ces techniques que nous sommes probablement les seuls à utiliser et à maîtriser. Après les multiples écoutes effectuées avec le "Streamline", les résultats obtenus font de ce maillon, de l'avis des mélomanes les plus exigeants, le meilleur câble jamais réalisé. Ces encouragements nous poussent, pour le futur, à réaliser des câbles digitaux et modulations selon les mêmes principes.

Aussi, et ce quelque soient la géométrie choisie ou les matériaux adoptés, il est essentiel, cela est vrai quelque soient la nature et l'amplitude du signal à véhiculer, de maintenir solidement les conducteurs pour éviter toute distorsion par intermodulation : la qualité musicale de certains câbles (Kimber, XLO, Tara-Labs,...) est résultat immédiat d'une très bonne tenue mécanique des conducteurs.

D'autre part et concernant les conducteurs proprement dit, la seule technique qui nous procure une écoute conforme à nos choix esthétiques (nous verrons plus loin, que la haute pureté des conducteurs n'est pas un critère déterminant pour nos réalisations) est l'utilisation de la topologie Litz, directe ou similaire, afin d'annuler les pertes par effet de peau dans les conducteurs et ce, malgré tout ce que pourront penser les maîtres de la calculatrice et des formules "physiques".

### Mesure des Paramètres

En accord avec notre démarche qui a caractérisé et personnalisé nos câbles, les paramètres à mesurer sont évidemment connus de tout le monde, à savoir : la résistance et l'inductance séries, la capacité et la conductance parallèle : ce sont les éléments du tronçon de câble idéalisé et sur lequel va venir s'ajouter la modification calculée (et validée par la métrologie) après l'industrialisation et la mesure du câble définitif..

Malheureusement, comme nous

avons vu plus haut, cette seule modification n'est pas suffisante. Il faut, en effet, corriger la phase et l'impédance du câble. On mesure alors le paramètre Z le câble ouvert et en court-circuit. On opère de même avec l'angle de phase. On calcul alors selon les formules bien connues :

$$Z = (Z_o \times Z_s)^{1/2} \text{ en Ohms et } \varphi = (\varphi_o + \varphi_s)/2 \text{ en Degrés.}$$

Le seul appareil moderne qui est utilisable pour ces mesures est le modèle HP 4284A que nous avons associé à un ordinateur Macintosh IICI (avec le logiciel Rag-Time) pour traiter les données obtenues et réaliser les courbes associées. Aussi, nous tenons à préciser : le lecteur averti et l'amateur enhardi par ces quelques explications sur nos méthodes de travail ne nous en voudrons pas de ne pas nous étaler sur les méthodes pratiques de réalisation de ces corrections : notre savoir-faire (en dehors duquel rien n'est réalisable ou envisageable malgré les plus brillantes théories) est notre "pain quotidien".

La correction d'impédance et de phase est réalisée pour la quasi totalité des câbles FAP. Le câble digital, quand à lui, ne bénéficie pas de cette correction dans la mesure où, par construction, son impédance est proche de 75 Ohms et qu'il est normalement dédié à véhiculer une seule fréquence. Cette correction devient plus complexe pour les modèles ZL 1BW, SC 15BW et "The Stream-line". En effet, ces deux premiers câbles possèdent une triple correction : le réglage du retard de groupe pour le haut du spectre, un retard de groupe naturel pour le bas du spectre et enfin une correction de l'impédance en fonction du maillon à réaliser. Pour le "Streamline", une troisième correction de la vitesse de transmission du médium est opérée pour une plus grande homogénéité du message sonore.

les figures 5 à 8 montrent les résultats de ces modifications.

### Correction des paramètres

Pour arriver à cette correction, je vais essayer, mathématiquement, de

faire découvrir les paramètres qui nécessitent cette modification en vue d'obtenir un maillon sans distorsion.

Mais il me paraît d'abord nécessaire de préciser que cette démarche n'a pas été dictée seulement par la rigueur ou la curiosité scientifique, mais aussi par l'intuition après toutes les écoutes musicales effectuées sur les câbles existants et qui restent insatisfaisants pour la plupart (en tenant compte aussi du rapport qualité/prix) et après la réalisation de plusieurs prototypes de câbles depuis une dizaine d'années pour vérifier ses hypothèses.

Il ne faut donc pas voir, dans ce travail, la façon du scientifique qui essaye de faire coïncider ses formules à la réalité du son, mais retenir que c'est bien un mélomane qui essaye de répondre à un problème concret en utilisant, avec un peu d'astuce, les connaissances scientifiques en sa possession.

Il faut dire aussi que MIT est le premier à avoir introduit sur le marché des câbles corrigés dont le principe électronique a été couramment utilisé en téléphonie depuis 1914 selon des principes découverts à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle et mis en application par les savants Pupin et Krarup. Pour les paramètres à corriger, R, L, C et G, et sans trop rentrer dans les détails, (d'éminents collègues l'on fait dans cette même Revue), on sait que l'impédance caractéristique d'une ligne de transmission s'écrit :

$$Z_c = \pm ((R+jLw)/(G+jCw))$$

D'autre part, on appelle constante de propagation K, la quantité :

$$K = \pm ((R+jLw)(G+jCw))$$

Et si on pose :  $K = a + jb$ , calculons alors les réels a et b.

$$\text{On a alors } K^2 = (a^2 - b^2) + 2ab$$

D'autre part, on a aussi :

$$K^2 = (RG - LCw^2) + jw(LG - CR)$$

Et en comparant les deux termes en  $K^2$ , on obtient alors :

$$a^2 - b^2 = RG - LCw^2.$$

Mais comme  $2ab = w(LG + CR)$ , on obtient alors deux équations à

deux inconnues dont la résolution donne :

$$b = \pm \left( \frac{1}{2} \left( \pm (R^2 + L^2w^2)(G^2 + C^2w^2) + (RG - LCw^2) \right) \right)$$

$$b = \pm \left( \frac{1}{2} \left( \pm (R^2 + L^2w^2)(G^2 + C^2w^2) - (RG - LCw^2) \right) \right)$$

On appelle alors a le coefficient d'affaiblissement et b la constance de longueur d'onde de phase. Donc pour que a soit minimum, annulons la dérivée de  $a^2$  par rapport à L. On trouve alors pour  $da^2/dL$  :

$$\frac{1}{2} \left( \frac{\pm ((G^2 + C^2w^2)/(R^2 + L^2w^2))}{(2Lw^2 - Cw^2)} \right) = 0$$

$$\text{ou encore } (G^2 + C^2w^2)L^2 = (R^2 + L^2w^2)C^2.$$

On voit alors immédiatement que l'on a :

$$LG = CR$$

C'est la condition d'Heaveside, un mathématicien de la fin du 18<sup>ème</sup> siècle. On aura alors

$$a_{\min} = \pm RG \text{ et } b = w + LC.$$

Il en résulte, si cette condition est satisfaite, que a est indépendant de la fréquence et que le signal sera transmis sans rotation de phase, donc sans aucune distorsion.

Mais en pratique, le produit LG est toujours très petit devant RC, d'où le travail de "pupinisation" des lignes téléphoniques qui consistait à insérer des selfs de quelques mH dans ces lignes de transmission.

Le progrès et la qualité des messages furent spectaculaires au détriment de la vitesse de propagation et de l'intensité du courant dans les lignes : la qualité des isolants fut la première cause de ces pertes et toute la recherche, dans ce domaine et à cette époque, va se diriger vers la recherche de nouveaux isolants.

D'autre part, les spécialistes de la haute fréquence considèrent, à juste titre d'ailleurs, que  $R=0$  et  $G=0$  et arrivent à une simplification de l'impédance caractéristique :

$$Z_c = \pm (L/C)$$

Mais cette formule devient aberrante pour les signaux musicaux

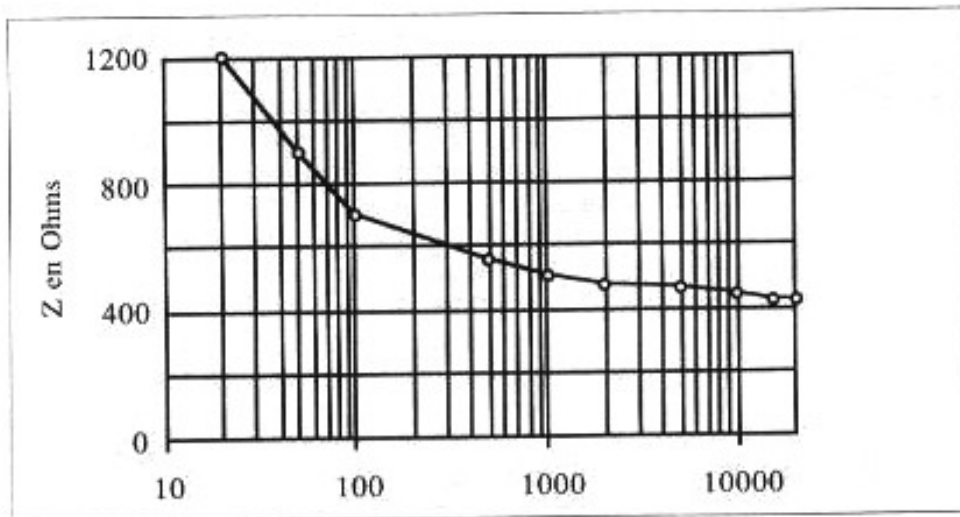


Fig. 5  
Impédance Caractéristique,  
fonction de la fréquence, du câble  
ZL 1 avant correction.

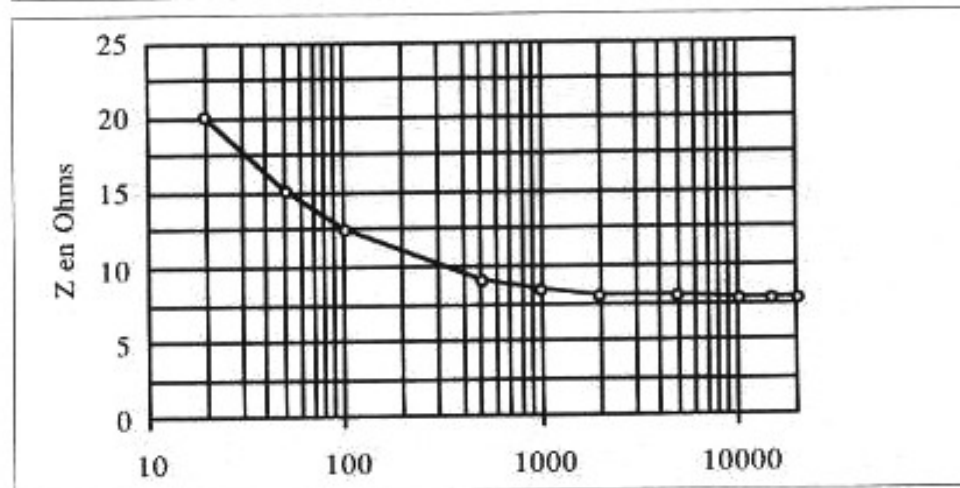


Fig. 6  
Impédance Caractéristique,  
fonction de la fréquence, du câble  
ZL 1 après correction.

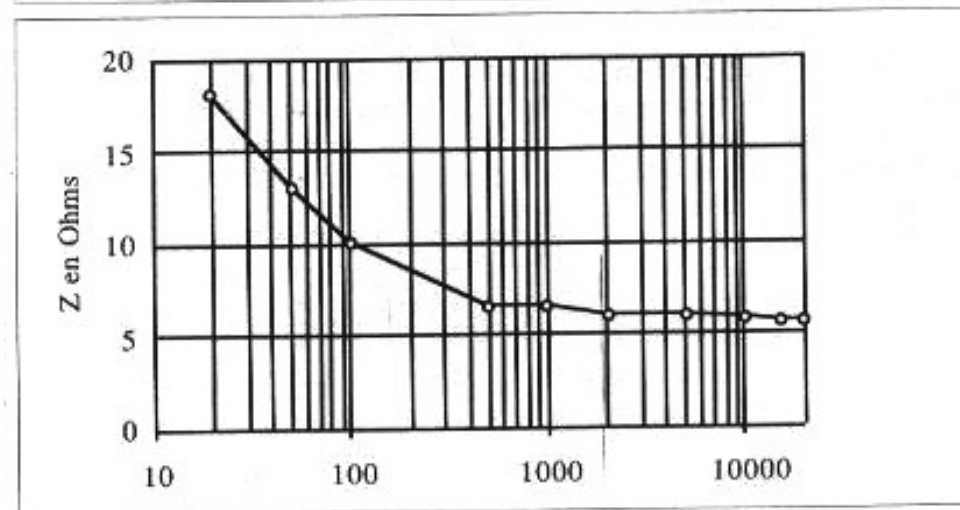


Fig. 7  
Impédance Caractéristique,  
fonction de la fréquence, du câble  
"The Streamline"

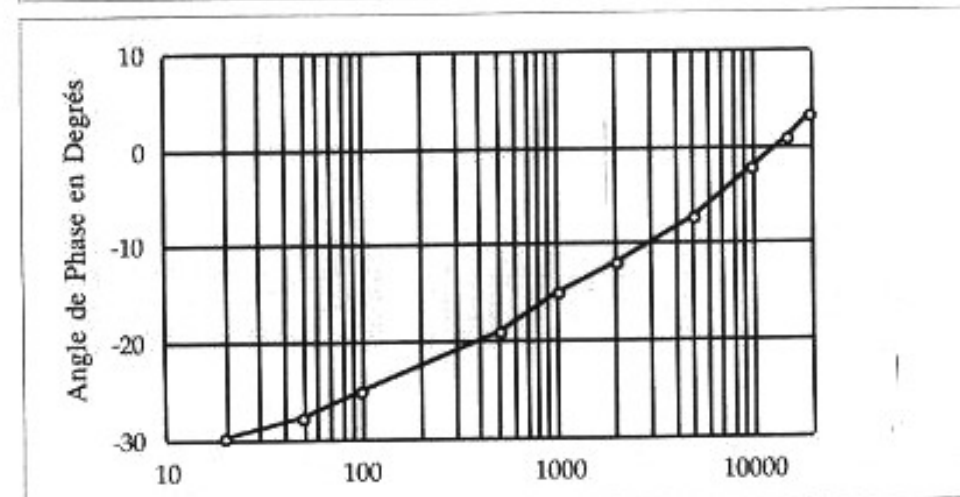


Fig. 8  
Phase Caractéristique, fonction  
de la fréquence, du câble  
"The Streamline"

surtout si l'on ignore l'origine de cette égalité car en effet, en basse fréquence, le paramètre G est loin d'être négligeable et R est souvent de l'ordre du deci-Ohms. Et donc pour satisfaire la condition d'Heaveside, il faudra :

- Diminuer R : le cuivre pur à cristaux longs ou l'argent à 950 pour 1000 permettent de le faire mais cela reste encore insuffisant, sans évoquer ici le timbre propre à chaque matériau.

- Diminuer C : cela est presque impossible car ce facteur dépend de la nature des isolants, de leur permittivité et de la géométrie qui ne laisse pas beaucoup de marges de manoeuvre.

Il reste alors comme seuls paramètres à essayer de modifier sans introduire de pertes résiduelles : l'inductance et la conductance de la ligne. Il nous a donc fallu trouver une technique qui augmenterait le produit LG, sans rendre "mauvais les isolants". Cela est possible en introduisant une self répartie le long de la ligne.

Notre recherche c'est donc orientée vers la recherche d'un matériau magnétique satisfaisant cette étude. Très vite, les différents essais ont montré qu'aucun matériau magnétique commun ne pouvait satisfaire notre demande. En effet, les circuits en silicium à grains orientés, traités au Laser ou pas, les quasi totalité des ferrites et les poudres de fer, même si elle sont saturables à 18 000 Gauss, présentent une fâcheuse tendance à introduire des distorsions à bas niveau : nous pensons que c'est l'effet "Barkhausen", phénomène caractéristique des domaines de Weiss à faible amplitude du signal et qui diminue avec la grosseur des grains

élémentaires de ces matériaux. Il se trouve que, pendant que je développais les matériaux et les bobinages pour le projet "Rita" chez Thomson, j'avais mis au point un nouveau matériau magnétique, à base de Fer Carbonyl, pour ensuite développer toute une série de supports pour la puissance (Alimentations à découpage à 1 MHz, dont la self de résonance est la self de fuite du transformateur en Fer Carbonyl). Ce matériau se présente sous forme de grains (2 à 8 mm) parfaitement sphériques et, une fois comprimé, donne des échantillons caractérisés par les propriétés suivantes :

- Une perméabilité de 15 à 30.
- Une induction de saturation de 1,9 Tesla.
- Une résistivité de l'ordre de  $10^6$ .
- Une permittivité de l'ordre de 10.
- Une fréquence de coupure de l'ordre de 100 Mz.
- Une rémanence quasi nulle.

Parmi les autres avantages de ce matériau : sa facilité d'utilisation sous forme de poudre ou de circuits par compression.

Selon ces principes, en 1987, nous avons réalisé un premier câble pour enceintes, la référence DC 1, que nous avons confié à Messieurs J. Hiraga et P. Vercher et qui donnait de bon résultats.

### Conclusion

Je ne me permettrai pas de conclure cette modeste contribution à la clarification des phénomènes régissant les lignes de transmission sonore sans citer les articles de Mr. P. Johannet. Ses réflexions et travaux sur les câbles montrent bien que

nous sommes animés par les mêmes préoccupations techniques et sonores. Son article : "Les câbles : la fin du mystère" (L'Audiophile n° 23) montre bien toutes les facettes du problème. Avec des moyens quelque peu différents, on arrive aux mêmes conclusions et surtout aux mêmes architectures et matériaux. Les figures 1, 2, et 13 représentent des produits largement utilisés par notre société. Par contre, le dessin de la figure 13 est exactement celui de notre tout premier câble DC 1, modèle déposé depuis Mars 1987 et qui est utilisé, légèrement modifié, par XLO pour leur câble HP. Le dessin de la figure 23 est celui de notre référence DC 10 (modèle déposé en Mars 1990).

Pour conclure, provisoirement, nous remercions tous ceux qui nous ont aidé et encouragé dans cette voie en consacrant de très longues soirées à écouter les résultats de ce travail et notamment : Mrs Hiraga, Vercher sans qui ce travail n'aurait pas abouti si vite, les établissements "Audio Concert", "Cohérences" et "Musique musiques". Je remercie aussi les responsables de TETRA Distribution, K. HECKER et SIPD pour leur professionnalisme.

### Bibliographie

- 1- Electronics Designer's Handbook L.J. Giacoletto (McGraw-Hill Book Company)
- 2- The Impedance Measurement Handbook M. Honda (Hewlett Packard)
- 3- Measuring Z of Balanced Cables Application note 339-4 (H.P.)
- 4- Les Isolants en Electrotechnique R. Fournié (Eyrolles).

la nouvelle  
**REVUE DU SON**

**SON**  
MUSIQUE  
VIDEO  
MAG

**L'AUDIOPHILE**

**SonPro**

**Editions Fréquences, 1 Bd Ney 75018 Paris**



**Page non  
disponible**

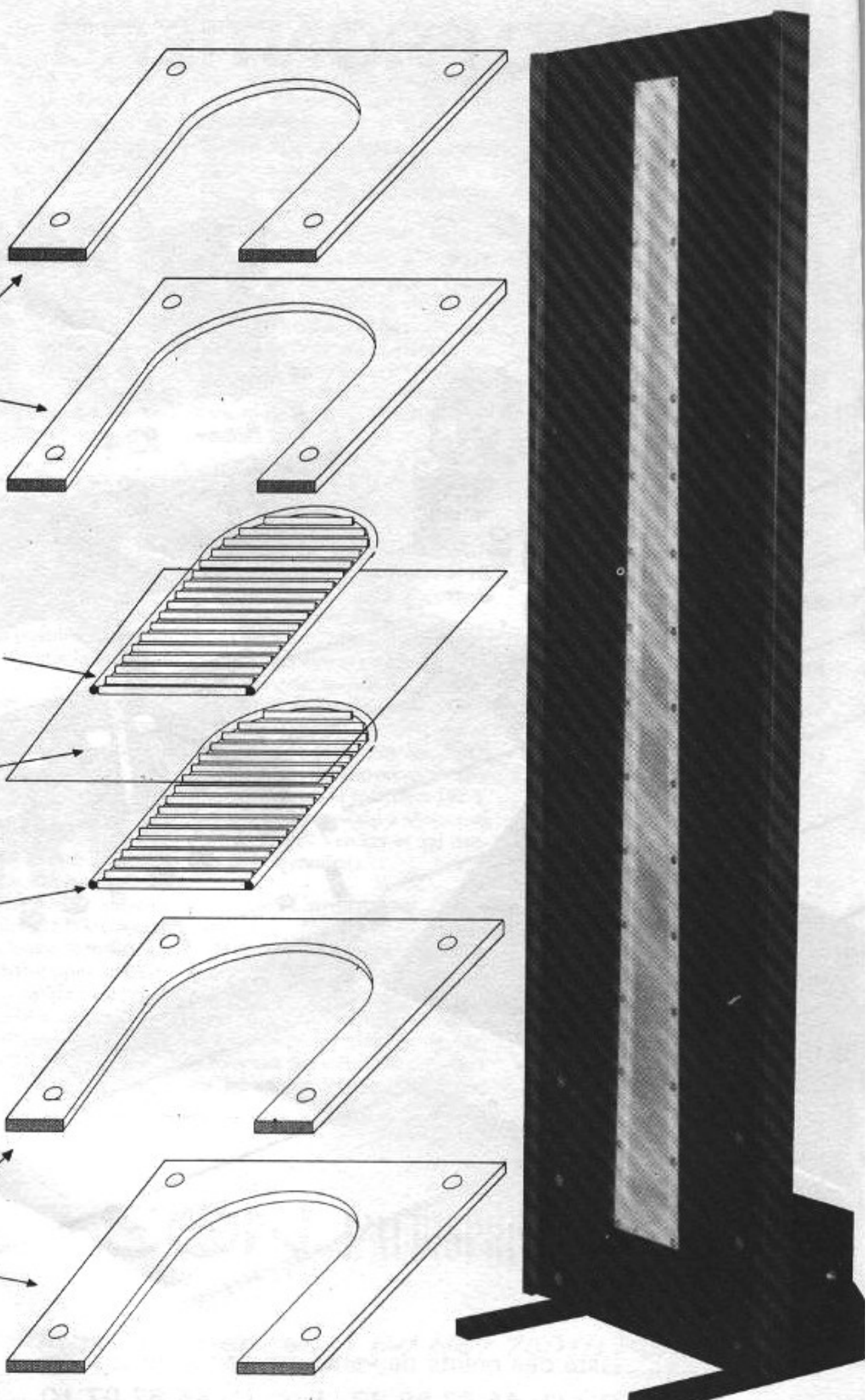
Cadre  
plastique

Electrode

Diaphragme

Electrode

Cadre  
plastique



- Réalisation personnelle -

# Un haut-parleur électrostatique

Philippe Hiraga

# M

*on intérêt pour les haut-parleurs électrostatiques remonte au début des années soixante. Au cours du Festival du Son qui se tenait à l'hôtel du Palais d'Orsay, j'entendis pour la première fois ce que les spécialistes d'alors qualifiaient de "fenêtre ouverte sur la salle de concert", il s'agissait du Quad ESL. C'est un domaine où les réalisations françaises sont très rares, en plus de vingt ans on ne compte pratiquement que le Sictam, première réalisation commerciale large bande, exposée au Festival du Son 1967 et les récentes réalisations de AHL.*

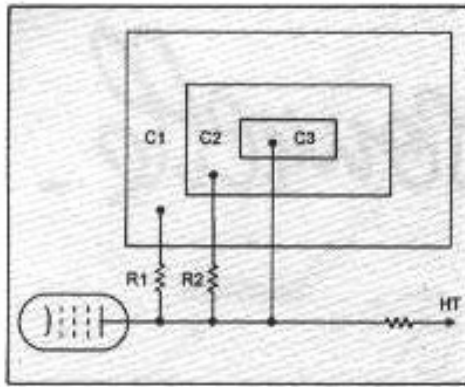
De 1970 à 1982 j'ai construit une trentaine de haut-parleurs et de casques électrostatiques, pour le plaisir et pour appliquer quelques idées originales. Le premier haut-parleur fut une cellule médium/aigu, l'un des derniers fait l'objet de cet article. Influencé par les cellules Orthophase ou Janszen. Les premiers haut-parleurs étaient de petite taille donc d'une utilisation limitée au médium/aigu sur des enceintes hybrides. Pour réduire la directivité et augmenter le niveau, il fallait multiplier les cellules et, en conséquence, les difficultés et les problèmes de fabrication. Les résultats obtenus et l'expérience acquise

m'incitèrent par la suite à fabriquer des cellules large bande de grande taille, notamment celle qui est décrite dans cet article.

## Quelques réalisations originales

Le Quad ESL, fabriqué à plusieurs dizaines de milliers d'exemplaires, a connu un grand succès international. C'est la raison pour laquelle il a fait l'objet de nombreuses descriptions et études théoriques, par exemple dans l'ouvrage de Jean Hiraga "Les haut-parleurs" ou dans les articles de Jacky Mas des numéros 20, 21 et 22 de l'Audiophile nouvelle série.

Le succès de ce produit très britannique, comparable à celui des automobiles Morgan, a laissé dans l'ombre quantité de réalisations originales qui auraient mérité d'être plus connues, par exemple celle de l'Américain Charles I. Malme qui déposa le 8 mai 1959 aux USA un brevet de haut-parleur électrostatique large bande. De forme circulaire avec un diamètre de 50 cm, ses électrodes, distantes de 6,35 mm, étaient constituées chacune d'un assemblage de 40 fils d'acier de 3,18 mm de diamètre espacés de 6,35 mm. Il s'agit en fait d'une évolution de la cellule Janszen. Une segmentation électrique des élec-



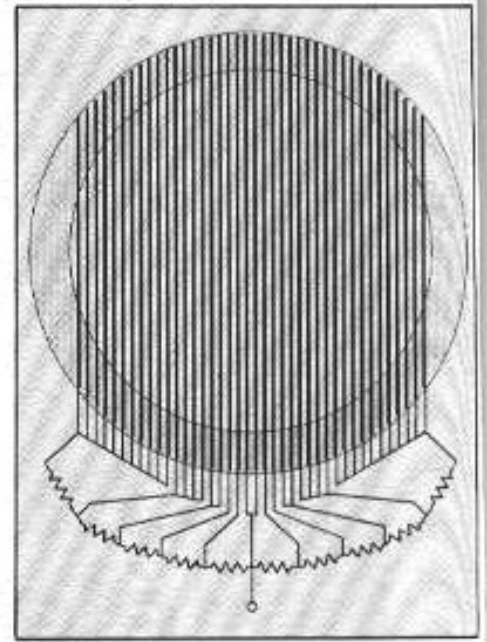
Principe de fractionnement d'une électrode d'un haut-parleur électrostatique proposé par C. Gary dans La Revue du Son d'octobre 1958. Zone  $C_1 + C_2 + C_3$  : graves ; zones  $C_2 + C_3$  : médiums ; zone  $C_3$  : aigu.

trodes par des résistances permettait de faire travailler ce haut-parleur sur six bandes de fréquence afin de réduire la directivité dans les fréquences élevées. Charles I. Malme avait vu juste, car après trente années, ce principe de segmentation d'électrodes en fils d'acier par des résistances est plus que jamais d'actualité chez des constructeurs américains ou européens comme Acoustat, Sound-Lab, Audiostatic. Le haut-parleur de Charles I. Malme était attaqué par un amplificateur à tubes de type O.T.L. dont l'étage final, équipé de tubes 2C53, tra-

vailait sous une tension de 8 kV !

Il faut remarquer que quelques mois avant ce dépôt de brevet, la Revue du Son avait publié dans son N°66 d'octobre 1958, un article de C. Gary sur la théorie des haut-parleurs électrostatiques. Cet article proposait l'utilisation d'un étage de puissance à tubes à couplage direct et un fractionnement des électrodes en trois zones de rayonnement à l'aide de résistances.

Le haut-parleur électrostatique push-pull n'est pas nécessairement constitué d'un diaphragme tendu entre deux électrodes perforées, mais inversement il peut être constitué d'une électrode perforée fixée entre deux diaphragmes de Mylar métallisé, principe proposé par le français Jean Deguillen dans un de ses brevets. L'électrode centrale est polarisée en haute tension à travers une résistance de forte valeur. La modulation est appliquée en opposition de phase sur les diaphragmes. La cellule étant étanche, on élimine en partie les problèmes liés à la poussière, de plus les diaphragmes, métallisés sur leur face externe, présentent leur côté isolé face à l'électrode centrale ce qui, a priori, constitue une protection contre le flashage. J'ai réalisé des tweeters fonctionnant fort

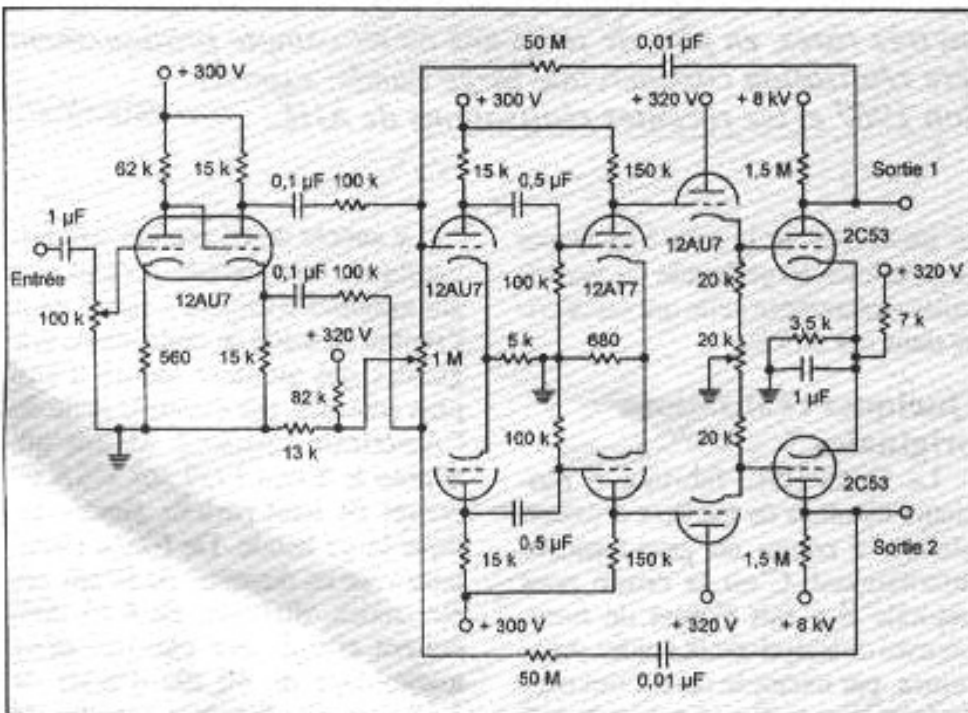


Vue d'une électrode du haut-parleur de Charles I. Malme. Les résistances introduisent des constantes de temps fractionnant l'électrode en six bandes de fréquence.

bien selon ce principe, sans avoir eu connaissance des travaux effectués auparavant par Peter Walker ou Jean Deguillen. Lors de surmodulations, des arcs électriques peuvent néanmoins se produire sur le pourtour des diaphragmes qui se découpent alors à la manière d'un timbre-poste... Une fine couche de vernis, appliquée sur le bord des diaphragmes, permet d'éliminer le phénomène.

En 1979, la société américaine BTM mit sur le marché une gamme d'enceintes hybrides équipées de tweeters électrostatiques, baptisés "EST" pour "ElectroStatic Translator", ils utilisaient ce principe, tombé dans le domaine public, mais qualifié pourtant de "radical new concept"! Plus récemment, toujours aux USA, John Civitello, a déposé un brevet d'enceinte large bande constituée de cellules triangulaires, fonctionnant toujours selon ce principe, assemblées de manière à former une portion de sphère.

Impressionné par les performances du tweeter "Air Motion Transformer" de ESS, j'ai également travaillé en 1976 sur un tweeter électrostatique à membrane en zigzag. Les champs électriques ne se manipulent pas aussi facilement que les champs magnétiques et en plus



Amplificateur O.T.L. à tubes de Charles I. Malme pour haut-parleur électrostatique. L'étage de sortie travaille sous 8 kV ! (d'après Electrostatic loudspeaker design and construction. Ronald Wagner).

d'un assemblage très délicat, le rendement du prototype était inférieur à celui espéré. Plus tard, en étudiant les brevets, j'appris que Peter Walker avait travaillé sur un haut-parleur "zigzag" dans les années cinquante.

## Réalisation d'un haut-parleur électrostatique large bande.

L'écoute au Festival du Son 1973 au Grand Palais des "paravents" Magneplanar fut pour moi une révélation. Ce haut-parleur électrodynamique utilisait des membranes longues et étroites. Dès lors, je me mis à réaliser des cellules de taille de plus en plus grande utilisant du Plexiglas ou du verre époxy pour le cadre et de la tôle perforée d'acier ou de laiton pour les électrodes.

En 1976 j'ai construit une cellule électrostatique qui me donna enfin satisfaction. Bien qu'elle soit ancienne, elle est suffisamment originale pour intéresser encore les Audiophiles.

Ce haut-parleur est d'un principe classique, c'est un électrostatique push-pull à charge constante constitué d'un diaphragme tendu entre deux électrodes, mais son originalité réside dans sa forme en trapèze allongé aux extrémités arrondies. On pourrait assimiler ce haut-parleur à un assemblage en ligne de 20 haut-parleurs de diamètres croissants, le plus gros faisant 10 cm, le plus petit 5 cm.

Les brevets concernant le haut-parleur électrostatique sont aujourd'hui, dans leur quasi-totalité, domaine public, y compris ceux de Quad, Acoustat, Beveridge ou

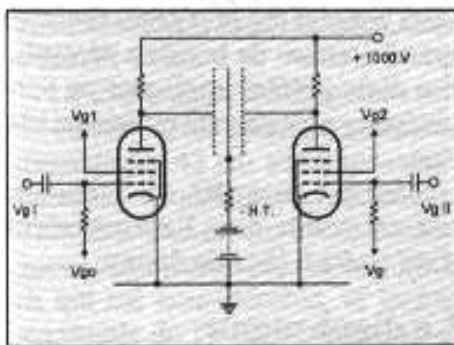
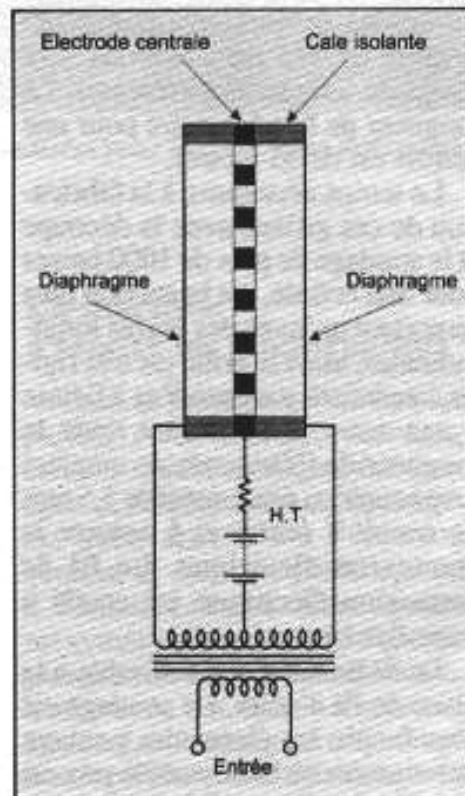


Schéma d'un étage de sortie à tubes proposé par C. Gary dans La Revue du Son d'octobre 1958.

Dayton Wright. Cependant, il est possible de protéger les idées originales et j'ai pris soin de déposer ce haut-parleur en forme de trapèze à l'Institut National de la Propriété Industrielle le 19 octobre 1982. Ce dépôt se révélera utile car le constructeur américain Apogée commercialisera en 1984 un haut-parleur également de forme trapézoïdale.

La hauteur d'une cellule est de 160 cm, la grande base fait 14,3 cm et la petite base 8,8 cm il est possible d'en assembler plusieurs côte à côte, ce qui donne un panneau d'allure très particulière.



Vue en coupe d'un haut-parleur électrostatique à deux diaphragmes. Ce principe a été utilisé par Peter Walker, Jean Deguillen et l'ElectroStatic Translator de BTM.

## Le cadre

Le cadre est constitué de deux parties quasi identiques, qui servent à maintenir et isoler les deux électrodes d'une part, à supporter le diaphragme d'autre part. Ces cadres sont réalisés à partir d'éléments découpés dans une feuille de plastique (polycarbonate, polystyrène) de 3 mm d'épaisseur. Ces éléments sont ensuite collés de manière à former chacun une des deux parties du cadre. Le cadre est percé de trous

destinés aux vis d'assemblage et de connexion. Un ruban conducteur en aluminium est collé sur le pourtour de la face interne d'un cadre, il viendra en contact avec le diaphragme collé sur l'autre cadre.

## Les électrodes

La tôle perforée permet a priori de réaliser facilement un haut-parleur électrostatique. Différentes variétés sont disponibles. Un jour, j'ai voulu m'en procurer aux Ets Weber bien connu des parisiens. Avant même de dire au vendeur l'usage que j'en ferais, celui-ci, un petit bonhomme, me répondit "De la tôle perforée ? C'est sûrement pour faire des haut-parleurs ! Suivez-moi!"

Un conseil m'a été plusieurs fois donné par ceux qui ont eu l'occasion d'écouter mes haut-parleurs impressionnés par les résultats d'écoute, mais consternés par les efforts déployés pour y parvenir "coller des bandes d'adhésif double face (genre Scotch-Mount) sur une tôle perforée de manière à en diviser la surface en plusieurs sections, appliquer ensuite une feuille de plastique rendue faiblement conductrice par pulvérisation d'un produit antistatique, mettre à nouveau des bandes d'adhésif double face sur les précédentes, appliquer la deuxième tôle perforée, souder les connexions, brancher et

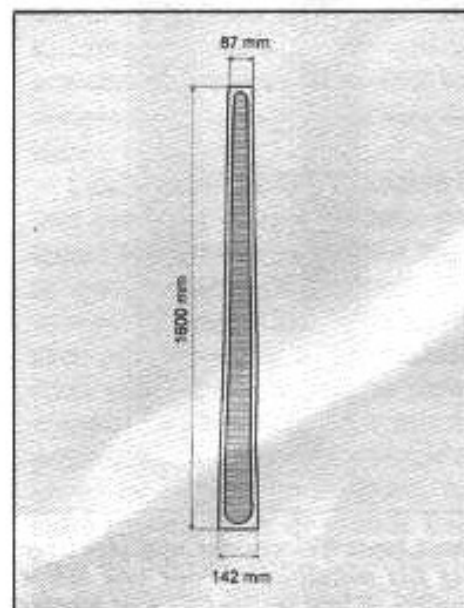
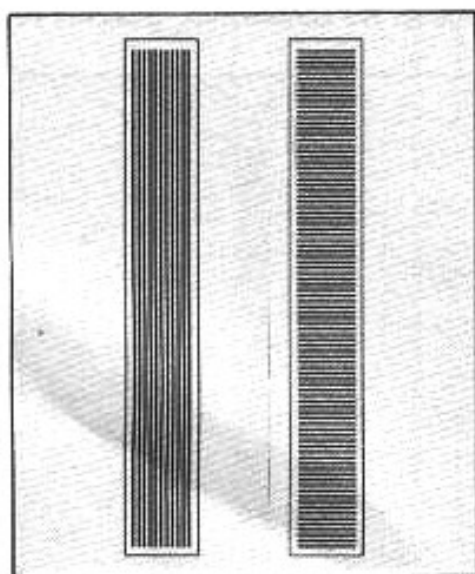


Schéma du haut-parleur trapézoïdal avec ses dimensions.

le tour est joué ! Je réponds qu'à défaut de disposer d'un grand savoir-faire et de technologies très évoluées, (ce qui est le cas par exemple de Martin Logan) les réalisations hâtives de haut-parleurs électrostatiques à base de tôle perforée aboutissent toujours à un échec... En outre, le choix dans les tôles est limité, si bien que les constructeurs utilisant ce type d'électrodes, qu'elles soient en métal ou en matériau synthétique, ont recours à des fabrications spéciales, c'est le cas de Martin Logan ou de Quad.

Les petites cellules peuvent être fabriquées en perforant du verre époxy ou de la bakélite cuivrés sur une face, on a l'avantage de disposer d'un matériau isolant d'un côté, conducteur de l'autre, ce qui simplifie la construction. Mais les cellules de grande surface nécessitent de perforer des milliers de trous, j'ai donc choisi de réaliser les électrodes par assemblage de fils d'acier à la manière de Janszen, d'Acoustat ou du constructeur allemand Rolf Renewald. D'autre part, subjectivement, le son obtenu me semble plus naturel, plus "aéré", et la bande passante paraît plus large qu'avec la tôle perforée.

Ordinairement ces électrodes sont constituées d'un assemblage de fils dans le sens longitudinal, unique-



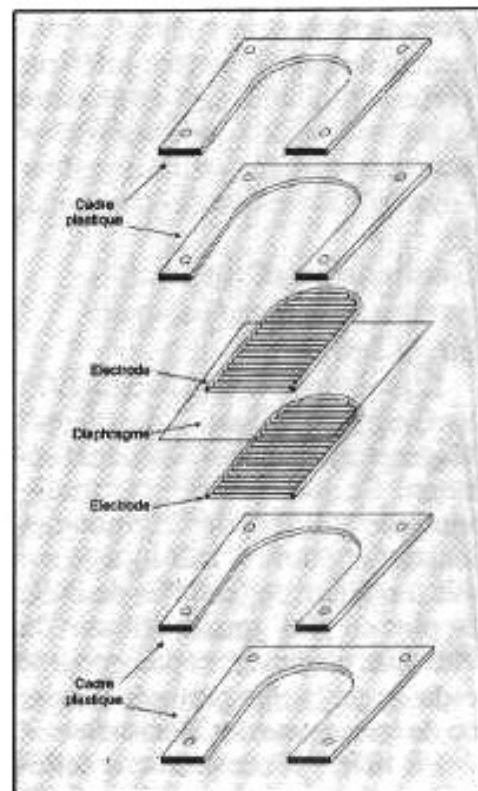
Deux types d'électrodes réalisées avec des fils métalliques. Pour une même surface, il faut 90 fils s'ils sont montés transversalement mais 11 fils seulement s'ils sont montés longitudinalement.

ment dans un but économique car il y a moins de barres à couper et à connecter, mais il en résulte un inconvénient majeur : un manque de rigidité qui rend indispensable le collage d'une grille ou de nombreux raidisseurs transversaux sur les barres pour en limiter les vibrations, ce qui diminue la surface émissive.

Dans ce haut-parleur trapézoïdal, les électrodes sont constituées d'un assemblage de fines barres parallèles disposées transversalement. Elles sont préparées à partir de fils d'acier de 15/10 très dur, de type "corde à piano". Etant donné la forme des cellules, ces barres, au nombre de 515 par électrode sont toutes de longueurs différentes. La longueur de fil nécessaire pour une cellule est de 85 mètres.

Le temps nécessaire à la fabrication de ces grilles, avec la découpe et le soudage de plus de 1000 barres pour une cellule, est beaucoup plus important qu'avec des barres longitudinales, mais la grille est très rigide. Les barres sont soudées à l'étain à une autre barre faisant toute la longueur de l'électrode de manière à maintenir un écartement de 1,5 mm de centre à centre et à assurer la connexion électrique. Le fil de connexion électrique est soudé à l'une des barres.

Le fil de laiton est utilisable à la place du fil d'acier. Le soudage est plus facile, les électrodes peuvent être étamées au bain, mais le prix est très élevé et il est difficile de trouver en quantité des fils qui ne soient pas déformés. La grille, ajourée à 50 % de sa surface, est particulièrement rigide. Une grille en verre époxy ou en bakélite perforée à 50 % est inutilisable car trop flexible, les trous étant très rapprochés. La capacité mesurée est de 400 pF, pratiquement égale à celle d'un condensateur constitué de deux plaques de 1330 cm<sup>2</sup> espacées de 3 mm bien que les électrodes soient ajourées à 50 %. C'est un point important concernant le rendement car l'électrode se comporte électriquement comme si elle n'était pas perforée, et la force motrice est directement proportionnelle à sa surface.



Vue éclatée de la cellule à environ 10 cm du bas.

Idéalement, les grilles ne devraient pas être isolées car l'isolant a tendance à conserver une certaine charge, provoquant des distorsions. Mais il est nécessaire de protéger de la rouille l'acier des électrodes. Il existe un certain nombre de vernis isolants adhérent bien sur les métaux. J'ai utilisé des enduits du genre "Gel-coat" en couche fine, mais au bout de quelques années, un phénomène de vieillissement de cette couche s'est manifesté avec apparition de craquelures et a nécessité des réparations. Il faut donc être prudent dans le choix du vernis isolant. Les vernis dits "THT" peuvent convenir mais coûtent chers et nécessitent un grand nombre de bombes aérosols, j'ai donc préféré appliquer un vernis époxy plus courant en couche très fine.

Lorsque la grille est terminée, elle est collée dans l'encastrement d'un cadre à la colle époxy.

### Le diaphragme

Sur le marché on trouve aujourd'hui un certain nombre de films de polyester, polycarbonate,



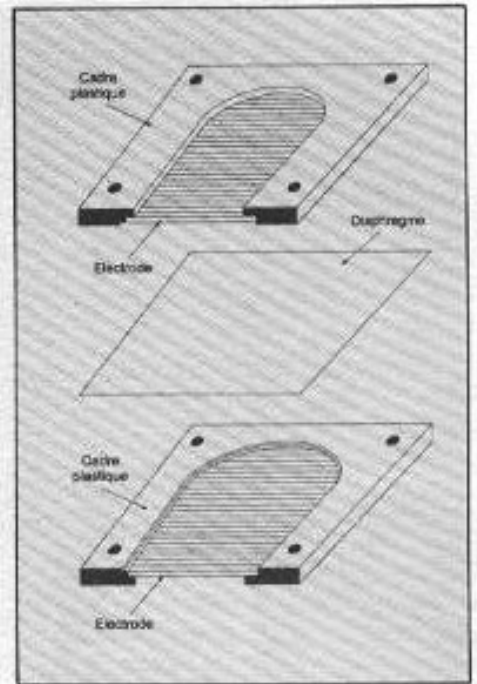
Pièces de plastique de 3 mm d'épaisseur utilisées pour la fabrication des cadres dans lesquels sont collés les électrodes.

polyéthylène et autres matières plastiques avec un vaste choix d'épaisseurs, parfois de l'ordre du micron. Beaucoup d'entre eux peuvent être utilisés pour un diaphragme. Le film utilisé dans ce haut-parleur est du Terphane type D pour condensateurs d'épaisseur 12 microns de Rhône-Poulenc. C'est un film de polyester équivalent au Mylar de Du Pont de Nemours. Ce même type de film, en épaisseur 3,5 microns seulement, a été employé pour le diaphragme du casque décrit dans le N°3 de l'Audiophile. Il ne montre aucun signe de vieillissement même après des années d'utilisation. Les distributeurs Rhône-Poulenc ne vendent ce film qu'au kilo, il est néanmoins possible d'en trouver en petite quantité en épaisseur 12 microns aux Ets Adam, 11 bd Edgar-Quinet à Paris 14<sup>ème</sup>.

Le diaphragme a une surface active de 1330 cm<sup>2</sup> correspondant à un diamètre de 41 cm soit approximativement la surface de membrane d'un haut-parleur de 46 cm. La longueur libre maximale est de 157 cm ce qui est considérable, la largeur maximale de 11 cm et minimale de 6 cm. Les dimensions du diaphragme sont exactement celles des grilles. Sa masse est d'environ 1 gramme.

### La machine à tendre les diaphragmes

Dans le principe même du haut-parleur électrostatique, la charge électrique du diaphragme fait face à celle des électrodes. Le diaphragme est donc attiré vers l'électrode comme le sont les pôles opposés d'aimants. Lorsque ce haut-parleur est symétrique ou push-pull, le diaphragme est attiré par les deux électrodes avec des forces d'attraction égales. Le diaphragme n'aurait pas besoin d'être tendu s'il était parfaitement centré car les forces s'annuleraient à son niveau. En pratique, les irrégularités de construction font qu'une tension mécanique est indispensable pour maintenir le diaphragme à égale distance des électrodes. La force de traction à exercer sur le diaphragme pour le maintenir centré est beaucoup plus élevée que celle qui l'attire vers l'électrode car elles s'exercent à angle droit et la largeur de l'électrode est très supérieure à son écart avec le diaphragme. Celui-ci étant tendu, une fréquence de résonance relativement élevée se manifeste par des colorations plus ou moins accentuées que l'on qualifie parfois de "son électrostatique" ou de "bruit de Mylar".

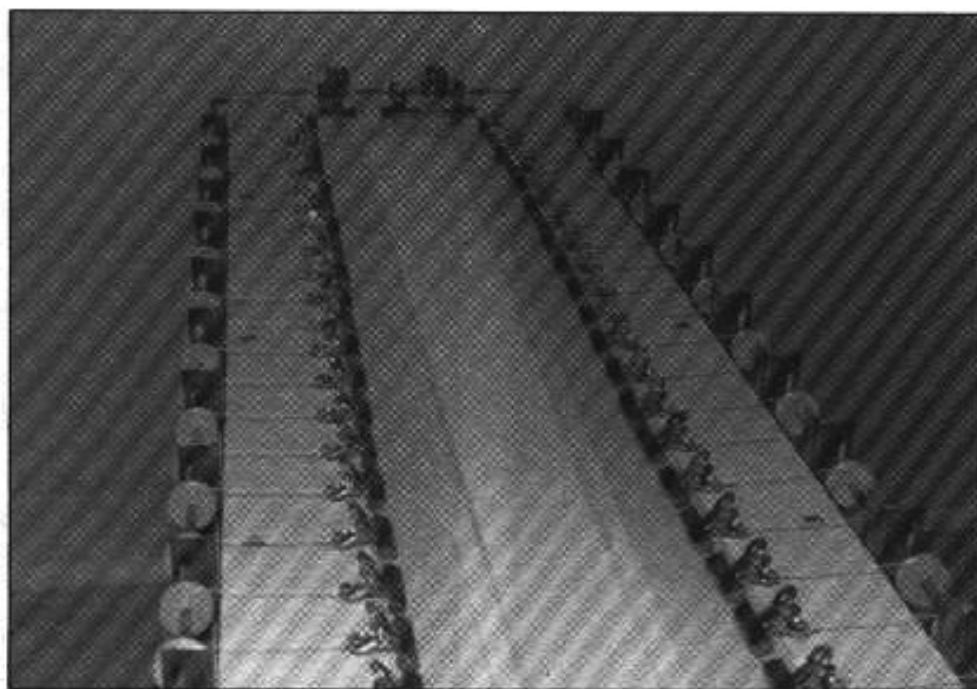


Coupe de la cellule à environ 10 cm du bas avant montage de la cellule. Les deux parties de chaque cadre et une électrode sont assemblées par collage.

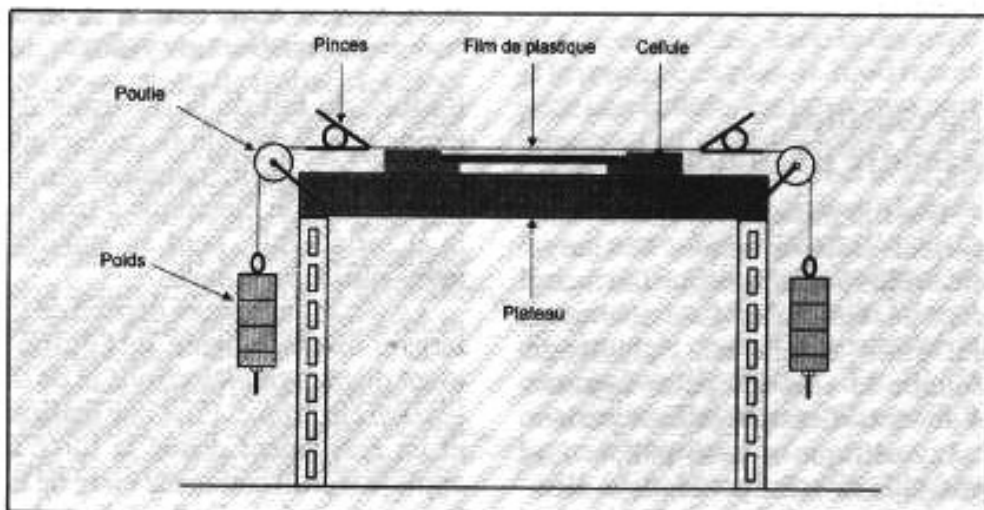
Parfois, du fait de la constante de temps très élevée de la cellule, un diaphragme insuffisamment tendu pour la tension électrique à laquelle il est soumis, perd sa stabilité après plusieurs minutes.

La force à appliquer dépend de la largeur du diaphragme, de l'écartement diaphragme/électrode et de la tension électrique. Pour une tension et un écartement donné la force à appliquer croît comme le carré de la largeur, ce qui exclut de réaliser des diaphragmes de grande largeur qui auraient en plus une directivité accentuée. Les diaphragmes de grandes dimensions sont toujours divisés en secteurs par des cales isolantes.

Dès le début de la fabrication de mes premiers casques et haut-parleurs électrostatiques il m'est apparu indispensable de disposer d'un moyen de tendre les diaphragmes avec précision. J'ai construit différents types d'outils plus ou moins compliqués et finalement mis au point deux machines, une ronde de petite taille pour les casques, une autre rectangulaire de grande taille pour les haut-parleurs. Cette machine absolument indispensable est plus coûteuse et plus difficile à construire qu'une cellule électrostatique.



*Machine servant à tendre et à monter le diaphragme.*



*Principe de la machine servant à tendre et à monter le diaphragme.*

Le film de plastique déroulé sur la machine est découpé en rectangle, puis saisi sur les bords avec des pinces du type pinces à dessin, la tension mécanique est obtenue par des poids en plomb agissant sur les pinces par un fil et une roulette intermédiaire. C'est le principe utilisé sur les bras SME pour compenser la poussée latérale. (Figure) Un des deux cadres de la cellule est alors glissé sous le plastique tendu puis collé. Ensuite, le diaphragme est découpé sur le pourtour de la cellule.

La machine a été construite de manière à pouvoir tendre les diaphragmes de différentes dimensions avec une force variable, les poids

étant constitués d'un assemblage de plusieurs petits plombs, de 10 à 150 grammes, de manière à doser avec précision la force avec laquelle le diaphragme est tendu. Il est possible d'utiliser des plombs de pêche qui ont l'avantage d'être disponibles facilement avec des poids précis.

Dans le cas du haut-parleur trapézoïdal, le diaphragme a une largeur de 60 à 110 mm. Il a donc été nécessaire d'utiliser des assemblages de plusieurs centaines de masses différentes, plus élevés pour la partie la plus large, plus faibles pour la partie la moins large, ce qui complique encore davantage la fabrication.

Dans certaines réalisations, le

diaphragme est tendu par cintrage de la cellule, ou bien la pose de petites cales isolantes entre le diaphragme et les électrodes permet de maintenir le centrage du diaphragme avec une tension mécanique plus faible donnant une fréquence de résonance plus basse.

## Traitement du diaphragme

Le diaphragme est rendu conducteur par pulvérisation d'une couche très régulière d'un produit faiblement conducteur. Après séchage, la résistance superficielle de la couche est de l'ordre de 10000 Mohms. Il est possible d'en vérifier la régularité avec un petit néon tenu entre les doigts, le diaphragme étant sous tension électrique. Le néon doit s'allumer faiblement avec la même intensité quel que soit l'endroit où il touche le diaphragme.

Les fabricants de haut-parleurs électrostatiques ne dévoilent jamais la nature du produit utilisé, c'est en général un secret bien gardé. Dans un brevet français, Jean Deguillen proposait d'employer une préparation à partir d'une dilution de plombagine. Les réalisations d'amateurs font souvent appel à des produits antistatiques, des huiles conductrices, du graphite colloïdal ou en poudre. Ce dernier a été souvent employé dans des réalisations d'amateurs américains, mais il a le défaut d'être peu fiable et de favoriser le flashage. Une fine couche de carbone peut être déposée à la surface du film en utilisant une préparation à base de ... sucre fortement caramélisé mais pouvant être dissous dans l'eau, associé ou non à une colle ou à un vernis très dilués.

Le savon liquide peut également être utilisé, à l'état pur, dilué dans l'eau, ou associé également à une colle ou un vernis très dilués. Idéalement, la couche conductrice obtenue devrait être très fine, moins du micron, sécher totalement et être insensible à l'humidité même à taux élevé.

## Assemblage d'une cellule

L'assemblage des deux parties de la cellule s'effectue à l'aide de 32



vis de 3 mm, la cellule n'est pas rivée ni collée car il a été prévu à l'origine de permettre le remembrage et le test de différents diaphragmes et produits conducteurs. Ces vis sont d'une longueur suffisante pour permettre la fixation de la cellule sur un baffle plan. L'espacement entre les électrodes est de 3 mm. Il y a trois connexions, un fil pour chaque électrode et une vis est en contact avec le ruban conducteur pour permettre la polarisation du diaphragme. Le poids d'une cellule est d'environ 2,5 Kg.

### L'adaptateur d'impédance à transformateurs et l'alimentation

Pour fournir un niveau acoustique satisfaisant, les cellules électrostatiques demandent des tensions de modulation considérables pouvant atteindre plusieurs milliers de volts efficaces sur les hauts niveaux avec toutefois un courant très faible, l'impédance de charge étant très élevée. Il faut donc prévoir un amplificateur O.T.L. du type celui de C.I. Malme ayant un gain en tension d'environ 1000. Acoustat et Beveridge notamment ont commercialisé des amplis de ce genre associés à leurs haut-parleurs. Ces amplificateurs sont très délicats à réaliser à cause des hautes tensions qui entrent en jeu dans l'étage final.

Le plus souvent, il est fait appel à des transformateurs adaptant la sortie d'amplificateurs pour haut-parleurs électrodynamique aux cellules électrostatiques.

Dans cette réalisation, deux transformateurs de modulation fournissent chacun des tensions en opposition de phase. Leur circuit magnétique est en tôles E et I à gain orienté de 96 mm x 80 mm sur une épaisseur de 50 mm. Le rapport de transformation est de 1/65.

La tension de polarisation haute tension nécessaire au diaphragme est obtenue par un multiplicateur de tension relié non pas directement au secteur mais à un transformateur fournissant 280 Volts. Ce transformateur de 24 VA est surdimensionné uniquement pour éviter un trop

grand nombre de tours par volt qui rendrait la fabrication délicate voire impossible. Le multiplicateur est constitué de diodes BY 255 et de condensateurs ERO 10 nF/2000 volts soudés sur un circuit imprimé époxy. La tension de sortie peut être ajustée entre 1800 et 2200 volts par un potentiomètre bobiné de 10 K $\Omega$ /5 watts sur le primaire du transformateur. Le diaphragme est polarisé par l'intermédiaire d'une résistance de 30 M $\Omega$ .

Les brevets de circuits multiplicateurs de tension et d'adaptation par transformateurs aux cellules électrostatiques sont également dans le domaine public depuis fort longtemps.

### Réalisation du panneau

Le baffle est constitué d'un panneau de 1,80 m de hauteur sur une largeur de 0,54 m avec une épaisseur de 5 cm. La cellule est vissée dans une ouverture en son centre.

L'alimentation secteur et les transformateurs de modulation ont été installés à l'intérieur d'un coffret en contre-plaqué solidaire du socle du panneau. Il faut remarquer qu'un baffle plan a une fréquence de coupure acoustique qui apporte une coloration particulière et qu'il possède sa propre fréquence de résonance liée au matériau employé. Un panneau n'est donc pas acoustiquement neutre. Le fait de percer des ouvertures dans le panneau pour y placer les cellules en réduit la rigidité. Enfin, la grille de protection peut également être sujette à des vibrations parasites. Les résonances parasites peuvent être mises en évidence et éliminées par utilisation d'un générateur sinusoïdal à fréquence glissante qui permet facilement d'en localiser l'origine.

D'autre part, malgré sa très faible masse, le diaphragme ne peut être mécaniquement oublié, il est affecté d'une faible résonance qu'il est nécessaire d'amortir afin de réduire les colorations.

### Performances

On estime souvent que les haut-parleurs électrostatiques sont pauvres

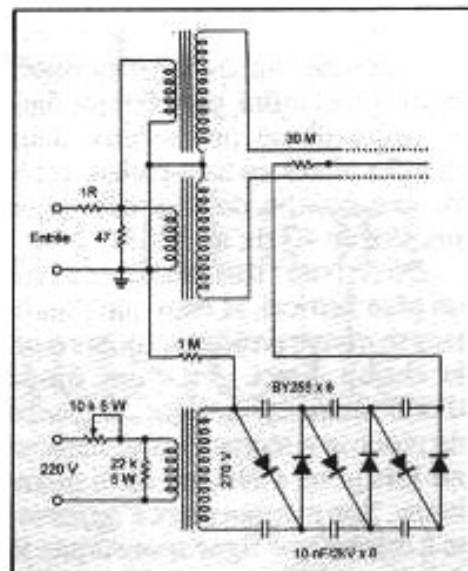


Schéma de l'alimentation haute tension et des transformateurs de modulation. Le potentiomètre de 10 k permet d'ajuster la tension de polarisation du diaphragme.

en grave, et que le complément d'un haut-parleur électrodynamique est indispensable. Ce n'est pas du tout mon opinion. L'intérêt du haut-parleur de grave est de renforcer le bas du spectre mais surtout de masquer des défauts et colorations propres aux cellules électrostatiques. D'autre part cela permet d'utiliser des transformateurs de modulation plus petits, donc d'un prix de revient beaucoup plus faible. L'erreur souvent commise est de choisir un boomer de grand diamètre à gros aimant et membrane lourde et épaisse (un cas typique est celui de l'enceinte hybride B & W DM70, aujourd'hui disparue). Le choix devrait plutôt s'orienter vers des haut-parleurs de caractéristiques dynamiques proches de celles d'un électrostatique, c'est à dire vers des haut-parleurs à faible facteur de force.

J'ai voulu que ce haut-parleur soit un électrostatique "pur et dur". Le grave et même l'extrême-grave sont présents et très propres. Ceci est probablement dû à la très grande longueur de diaphragme : 1m57. Le volume d'une grande salle de concert est très bien restitué. Il n'y a aucun filtre destiné à corriger (pour ne pas dire trafiquer) la courbe de réponse. Un système ne s'améliore pas en ajoutant tel ou tel artifice mais uniquement par élimination de ses

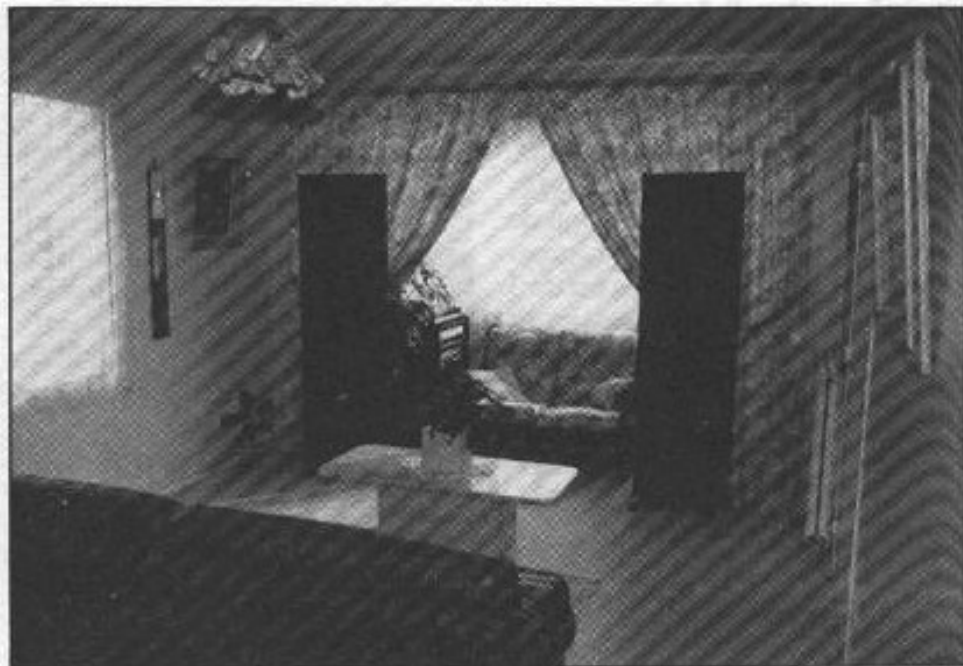
défauts.

**Linéarité :** lorsqu'il est monté en baffle quasi infini, par exemple dans le cadre d'une porte entre deux grandes pièces, ce haut-parleur génère une courbe de réponse quasi linéaire de 40 Hz à 18 kHz.

**Directivité :** il est très directif sur un plan vertical, si bien que l'auditeur se trouve presque toujours dans le champ direct. Avec une forme d'onde quasi cylindrique, la courbe de réponse a tendance à se maintenir lorsqu'on s'éloigne de la membrane. Son rayonnement s'apparente à celui d'une ligne acoustique, le son ne semble pas provenir de toute la surface mais d'un point précis, celui qui est le plus proche de l'oreille, cette source fictive se déplace donc verticalement avec l'auditeur. C'est l'effet Haas qui a été décrit dans le numéro 32 de l'Audiophile dans un article traitant de l'enceinte Totem. Le positionnement des panneaux dans le local d'écoute est par contre critique comme pour tous les haut-parleurs rayonnant en dipôle.

**Rendement et niveau sonore :** avec une seule cellule, la surface active est relativement faible, elle correspond au tiers de celle d'un Quad ESL. Toutefois, ce haut-parleur est large bande. Il n'y a pas de filtrage passif et le rendement s'en trouve considérablement amélioré. Le niveau obtenu pour une puissance donnée dépend de la tension de polarisation et du rapport de transformation des transformateurs. On obtient sans difficulté des niveaux de l'ordre de 100 dB avec amplificateur d'une cinquantaine de watts ce qui suffit à une écoute domestique. Le prix de revient d'une paire de panneaux est inférieur à 4000 F. Il est donc exclu de les comparer à des systèmes dix ou vingt fois plus chers.

**Fiabilité :** aucun phénomène de flashage ne s'est jamais manifesté, il est vrai que la puissance de l'ampli n'a jamais dépassé 120 Watts. Au pire le diaphragme talonne en touchant les électrodes sans qu'il y ait amorçage pour autant. Il faut remarquer que l'arrivée du Compact Disc, avec sa bande passante volontaire-



ment limitée, a donné une nouvelle jeunesse à tous les haut-parleurs basés sur ce principe en améliorant leur fiabilité. En effet, en dessous de 20 Hz, les défauts de planéité du disque microsillon se traduisaient par des tremblements des membranes des haut-parleurs électrodynamiques et des tensions très élevées entre les électrodes des électrostatiques dont le diaphragme pouvait être perforé à la suite d'une surmodulation provoquée, par exemple, par la chute de la pointe de lecture sur le disque. Avec le Compact Disc les membranes des haut-parleurs ne tremblent plus dans le registre d'infra-grave. D'autre part, le haut-parleur électrostatique se comportant électriquement comme un condensateur, son impédance décroît avec la fréquence si bien qu'au-dessus de 20 KHz, l'impédance de charge de l'amplificateur tend vers zéro. Avec une quasi-absence de signaux au-dessus de cette fréquence, l'amplificateur de puissance est protégé contre les surcharges.

### Références

Les haut-parleurs électrostatiques, 3ème partie. C. Gary. La Revue du Son N°66 d'octobre 1958.

Transducteurs électrostatiques ou le chant des condensateurs. Jacky Mas. Numéros 20, 21 et 22 de

l'Audiophile nouvelle série d'avril, juin et octobre 1992.

Un casque électrostatique. Philippe Hiraga. N°3 de l'Audiophile nouvelle série de février/mars 1989.

Un amplificateur pour casque électrostatique. Philippe Hiraga. N°10 de l'Audiophile de mai 1990.

L'enceinte Totem. Jean Hiraga. N°32 de l'Audiophile de mai 1984.

Perfectionnements aux haut-parleurs électrostatiques. Jean Deguillen. Brevets français N°s 1454121 du 29/10/1965, 1465963 et 1465965 du 21/01/1966.

Haut-parleur électrostatique. Peter Walker. Brevet français N°1134837 du 10/10/56.

Electrostatic transducer. Charles I. Malme. Brevet US N° 3014098 du 08/05/1959.

Electrostatic transducer. John P. Civitello. Brevet US N° 4289936 du 15/09/1981.

Electrostatic Loudspeaker design and construction. Ronald Wagner. Tab Books. Disponible chez Old Colony Sound Lab. Po Box 243, Peterborough, NH 03458, USA

Les haut-parleurs. Jean Hiraga. Editions Fréquences.

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**



**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**



**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

# LE MUSEE IMAGINAIRE

## Haut-parleur Siemens-Klangfilm "Eurodyn"

Jean Hiraga



*Il serait vain d'essayer de retracer en quelques pages l'épopée de Siemens & Halske. C'est l'une des plus grandes firmes mondiales, qui compte aujourd'hui plus de 350 000 employés, 40 000 chercheurs et quelques 230 unités de production réparties dans 41 pays. A sa source, un homme, Werner Siemens à qui l'on doit l'invention de la dynamo d'une part, la fondation de la firme en 1847, en association avec Johann Georg Halske et également la descendance de la célèbre famille Siemens. Depuis près de 150 ans, Siemens n'a jamais cessé de suivre la ligne de conduite tracée par ses créateurs : recherche, innovation et faire de la qualité leur meilleure publicité. On doit au groupe Siemens, qui créa une gigantesque cité industrielle de 25 000 employés près de Berlin dès les années 20 d'innombrables inventions, appareils et machines les plus variés. Siemens participa à la création du transducteur électrodynamique (Ernst Wermer, 1877), puis à celle du cinéma parlant par l'intermédiaire de sa filiale Klangfilm.*

### 150 ans d'histoire

On doit au fondateur de la firme Siemens & Halske, Werner Siemens, plusieurs travaux de première importance comme un procédé de dorure par galvanoplastie (1842) ou comme sa première dynamo à induit en double T (1866). Une soixantaine d'années plus tard Siemens fut le premier au monde dans le domaine de la production d'énergie électrique, avec la création de turbo-alternateurs de puissance comprise entre 50 000 et 80 000 kW. Citons, parmi tant

d'exploits technologiques, un train à grande vitesse fonctionnant sur courant triphasé qui avait atteint 210 km/h en 1903, un autre, beaucoup plus récent, l'ICE, un modèle expérimental qui atteignait 406 km/h en 1988, le lancement des lampes d'éclairage à filament de tantale en 1903, le télégraphe rapide à 1000 caractères/minute en 1912, la fabrication des diodes et triodes à vide à partir de la même date, l'accélérateur de 6 millions d'électrons-volts, pour les applications de la radiothéra-

pie en 1944, le stimulateur cardiaque en 1958, la première centrale nucléaire Siemens de 328 mégawatts en 1968, le "Magnetom" système d'imagerie par résonance magnétique en 1982, ceci n'étant qu'un petit aperçu parmi les quelques 100 000 produits composant la gamme actuelle de la firme Siemens A.G.

Les activités principales de Siemens se sont tout d'abord concentrées sur les réseaux télégraphiques, sur les câbles sous-marins de liaisons télégraphiques, sur le téléphone, puis sur les

dynamos, les moteurs, les lampes à incandescence. Pour ces dernières, une tentative d'association avec la filiale Deutche Edison échoua en conduisant à la naissance d'une autre société qui devint célèbre à son tour, la Allgemeine Elektrizität Gesellschaft, c'est-à-dire AEG. Précisons encore que leco-fondateur de la firme Johann Georg Halsk, ami de Werner Siemens se retira relativement tôt (en 1867) de la firme tandis que Werner Siemens y participa très activement jusqu'à l'âge de 73 ans suite à quoi la famille Siemens prit le relais : William, Friedrich, Carl Von, Arnold Von, Wilhem Von, Carl Friedrich, Ernst Von, Hermann Von et enfin Peter Von. En 1966, Siemens & Halske fut incorporé dans le groupe Siemens AG et suivi, un an plus tard par la fondation d'une autre firme devenue célèbre depuis, la Bosch Siemens Hansgeräte GmbH. Du côté des tubes électroniques, Siemens entreprend la fabrication des diodes et triodes à vide pour ainsi dire dès leur invention. Il faut à ce sujet préciser que l'invention de la triode est attribuée d'ordinaire à Lee de Forest et celle de la diode à Fleming. Notons toutefois que l'autrichien Robert Von Lieben avait déposé en 1906, soit un an avant De Forest, un brevet concernant une diode équipée d'une grille de commande et qu'à la fin du siècle dernier, Edison avait déjà tenté de placer à l'intérieur de ses lampes à incandescence une plaque sur laquelle il appliquait une tension positive, mais seulement dans le but d'essayer d'atténuer le noircissement progressif de l'ampoule. Toujours est-il qu'une lutte acharnée s'engagea entre Robert Von Lieben et De Forest (qui rencontra de nombreux problèmes juridiques) pour lequel la véritable supériorité de sa lampe triode était un vide très poussé. Siemens sut de son côté tirer profit de ces différentes inventions en s'entourant de brillants chercheurs tels que Walther Schottky. Après la découverte des rayons X par Wilhem Conrad Röntgen en 1895, Siemens entreprit à partir de 1914 la fabrication des tubes Röntgen. Siemens fut parmi les premières firmes en Europe à proposer des

tubes triodes à chauffage direct de "forte puissance" ou plus exactement, dont la valeur dissipation plaque n'était que de l'ordre de 10 W. Une version particulièrement réussie portait la référence KL-70403. C'est juste à cette date, en 1928, après la fabrication par Siemens des premiers tubes et récepteurs de T.S.F. dès 1923 que Siemens et le groupe AEG décidèrent de fonder ensemble une firme spécialisée dans les applications du cinéma parlant, la Klangfilm-gesellschaft. On constate là encore la rapidité d'action du groupe Siemens face à la concurrence :

- Vitaphone : procédé américain mis en application par Western Electric en 1926, film 35 mm, synchronisation mécanique avec disque de 16 pouces et rotation 33 tours 1/3 mn.
- Petersen et Poulsen Dual Film System : procédé danois avec son optique sur film 35 mm appliqué entre 1924 et 1928.
- De Forest Phonofilms, film 35 mm, son optique, à partir de 1929
- RCA Photophone, film 35 mm, son optique, 1929.
- Klangfilm, Allemagne, idem, 1929
- Visatone, USA, son optique 1930.
- Western Electric, son optique avec réducteur de bruit "GNR", 1931.
- Pathé, France, 1931, son sur disque synchronisé
- Fox Case Movietone, USA son optique 1930

On constate que cette concurrence était très forte seulement quelques années après la commercialisation effective du cinéma parlant par Western Electric en 1926. Ces différents procédés faisaient suite à des systèmes expérimentaux réalisés quelques années plus tôt.

- Tri-Ergon, (groupe de recherche allemand), son optique sur film 42 mm, en 1922
- Lauste, procédé français, son optique, 1912, par Eugène Lauste.
- Arthur Kingston : procédé anglais, 1921
- Grindell-Matthews, procédé américain, 1921

Malgré ses concurrents nationaux en fabrication de tubes (Telefunken, Lorenz, Opta, Valvo, Futh, Ultra) et internationaux en termes d'applications du cinéma parlant, la division de Siemens Klangfilm connut des années de gloire entre 1928, date de sa fondation, et 1953, date à laquelle Klangfilm fut incorporé dans Siemens & Halske. Les dernières créations de Siemens dans le domaine du cinéma parlant remontent à 1977 : amplificateurs transistorisés, filtres actifs, systèmes multi-voies multi-amplifiés, dernière version du système Eurodyn. Suite à quoi les dirigeants de Siemens estimèrent comme peu rentable ce créneau de marché. Il fut en conséquence abandonné vers 1981, malgré l'insistance de différents distributeurs étrangers. Cette initiative fait partie des restructurations profondes de ce grand groupe dès 1966, qui préféra se consacrer aux centrales nucléaires géantes (Biblis A, sur le Rhin, en RFA, en 1974) aux microprocesseurs très performants (contrat avec Intel en 1976), aux appareils médicaux, tomographes Somatom et Magnétom, aux imprimantes laser, aux câbles optiques et autres technologies d'avant-garde.

Un retour au tube triode Klangfilm KL-70403 cité plus haut pour préciser que lorsqu'un produit est très apprécié, il est très vite copié par les concurrents : LK 4130 et LK-460 chez Valvo, E-403 chez Philips, LP-4 chez Marconi ainsi qu'une superbe création, sans doute la meilleure petite triode de puissance jamais construite à ce jour, la triode Telefunken RE-604 (version de base avec bulbe en forme d'aubergine). Quelques années plus tard, Klangfilm réagit face à la concurrence et commercialise la tétrode à chauffage direct F2a. On doit à Walther Schottky, un des pionniers de la lampe radio dite "universelle" de nombreux modèles de tubes Siemens, incluant la SS-1 (1917), la première tétrode Siemens. Plus tard, c'est le chercheur hollandais Bernard Tellegen, du groupe Philips, qui réussit à maîtriser le problème de l'émission secondaire, gênante car responsable d'un effet d'instabilité, en ajoutant juste avant la plaque une

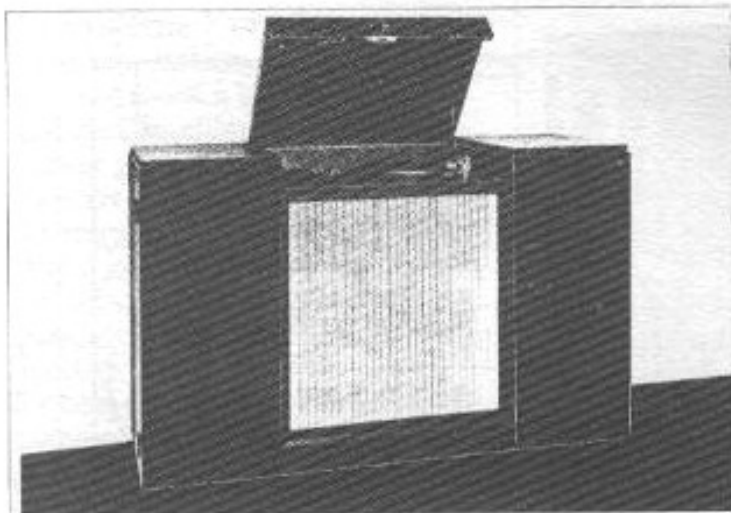


Figure 1 : Ensemble radio-phonos de très haute qualité, le "Kammermusikgerate" construit par Siemens en 1936. On note la taille imposante du haut-parleur grave, de diamètre 60 cm associé à deux autres haut-parleurs de médium 16 cm et d'aigu 10 cm, le tout précédé d'un système bi-amplifié avec filtre actif en tête. Il montre l'avance de Siemens dans le domaine de la reproduction sonore de haute qualité.

troisième grille dite "d'arrêt" ou "suppresseuse". Ainsi naquit le tube pentode moderne. La F 2a et sa version améliorée F2a 11 font partie des excellents tubes tétrodes à chauffage indirect conçus pour les étages de sortie basse fréquence. Selon la géométrie des électrodes, il est possible de réaliser un tube triode équipé d'une grille supprimeuse, comme ce fut le cas de la RE120 de Philips (sorte de 2A3 mais avec chauffage indirect en 6,3 V et support octal) ou encore de la dernière version de la PX 25 anglaise de GEC. Chez Klangfilm, souvent référencé KGF dans les manuels de tubes, on peut citer des excellentes triodes comme les 71402, 71403, KL 71406, KL 71409, KL 71410, KL 71414 tandis que sous la référence Siemens ont été créées des triodes de qualité exceptionnelles, les Ca, Da, Ea, Eb. Ces tubes font aujourd'hui partie des modèles rares et recherchés par les "triodiauphiles". A l'exemple de Western Electric aux USA, Siemens ainsi que sa division cinéma Klangfilm ont toujours recherché une qualité de fabrication ainsi que des performances très poussées. Un très bel exemple est apparu chez Siemens en 1936, le "Kammer Musik gerat", la chaîne hi-fi de l'époque (figure 1). Derrière son esthétique d'avant-garde se cachait déjà les bases des chaînes hi-fi actuelles : une enceinte trois voies avec un haut-parleur grave de diamètre 60 cm, deux amplificateurs de puissance pré-

cedés d'un filtre actif, d'étages phono et radio particulièrement sophistiqués. Le récepteur radio Siemens "Neutro", fabriqué en 1928 (figure 2) faisait déjà appel à un mode de câblage qui n'est autre que l'ancêtre du circuit imprimé.

### Les systèmes Klangfilm

Pour les applications du cinéma et de la sonorisation en générale, la division Siemens Klangfilm dut adopter le principe des systèmes modulaires, toujours actuels car permettant de personnaliser chaque système en fonction des besoins et du budget consacré. Dès sa naissance, Klangfilm eut la chance d'avoir en main toutes les clés pour réussir dans ce secteur de marché tout neuf bien que déjà disputé par des nombreuses firmes concurrentes. Il réussit donc sans peine à mettre au point, puis à faire

évoluer une gamme de maillons basse fréquence, de haut-parleurs, d'amplificateurs à tubes au sein desquels il existait des spécialistes, voire des inventeurs pour chacun des éléments constituant cette gamme. Les systèmes de cinéma les plus élaborés ont été conçus entre 1953 et 1955, juste pendant la période où Klangfilm fut de nouveau incorporé dans le groupe Siemens. La figure 3 montre un exemple d'installation stéréophonique, conçu en 1955 pour répondre aux besoins des premiers films à grand spectacle incluant couleur, format cinémascope et son stéréophonique. La publication des schémas des amplificateurs, des plans de haut-parleurs et filtres associés est malheureusement impossible car près de 200 pages seraient nécessaires rien que pour les schémas des électroniques principales.

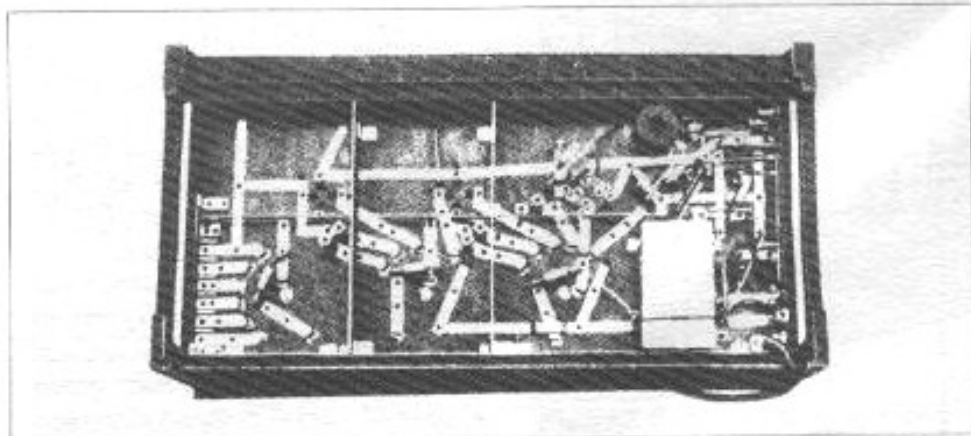


Figure 2. Récepteur radio Siemens "Neutro" datant de 1928. Son mode de câblage n'est autre que l'ancêtre du circuit imprimé.



## Le système Eurodyn

Deux haut-parleurs de très haute qualité ont présidé à la prospérité de la gamme Klangfilm. Il s'agit du haut-parleur grave KL-L401 de diamètre 38 cm et la chambre de compression 2 pouces KL-L301 que l'on a considéré à juste titre comme un produit en concurrence directe avec les marques américaines RCA, Western Electric, Jensen ou Altec.

Le haut-parleur grave KL-L401 est, comme le KL-L301, un modèle dont le moteur à excitation est particulièrement généreux : énorme culasse en "C" de 19 mm d'épaisseur, plaque de champ en alliage ferreux au cobalt, bobine à excitation imposante d'impédance 2800 ohms permettant une connexion en parallèle (et non en série, comme sur les montages traditionnels sur une alimentation en courant redressé et filtré de 250 V. Il était obtenu ainsi dans l'entrefer une induction de quelques 17 000 Gauss (soit 1,7 T). Sur ce modèle, on retrouve le principe ancien, assez onéreux et déjà rencontré chez Jensen ou Altec (entre autres) de l'équipage mobile démontable : spider "papillon" en bakélite monté sur entretoises et suspension périphérique à petits plis avec pourtour sur couronne amovible maintenue par des vis sur le châssis. Sur les haut-parleurs actuels le collage présente divers inconvénients : impossibilité d'un recentrage éventuel (après quelques années de fonctionnement), impossibilité d'extraire des poussières logées dans l'entrefer, vieillissement des collages pouvant générer des vibrations parasites, impossibilité de remplacer facilement l'équipage mobile. En contrepartie, le KL-L401 a pour défaut de ne pas disposer d'entrefer protégé contre les poussières, un inconvénient que ne connaissent plus les haut-parleurs récents, exception faite des modèles à ogive centrale. L'association d'un circuit magnétique ultra-puissant, d'un entrefer étroit et d'une membrane légère participent au rendement remarquable de ce haut-parleur, quelques 105 dB/m/w, soit 2 à 3 dB de plus que les meilleurs modèles concurrents américains. Compte tenu des poids élevés de ce haut-parleur, soit 18 kg, la

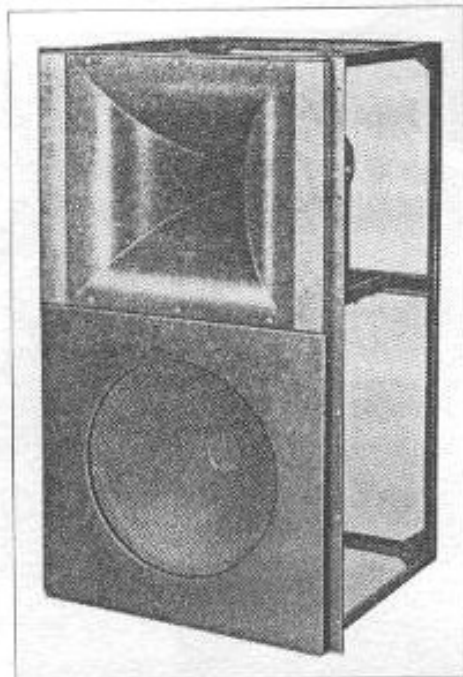


Figure 4 : Système deux voies Klangfilm "Eurodyn". (d'après une notice technique de l'époque).

fixation s'effectue par un système d'équerres au dessus ou au dessous du circuit magnétique. La membrane à génératrice presque droite est réalisée selon une recette chère à Siemens (non pressée, fibres longues, peu de liant), que l'on retrouvera plus tard jusque sur le dernier haut-parleur coaxial 25 cm C 72233-A10/A7. A la fois "rapide" et "auto-amortie" elle permet d'éviter le phénomène classique de résonance haute, dans la région 1 à 3 kHz précédée le plus souvent d'une réponse en fréquence ascendante. La fréquence de résonance grave se situe vers 50 Hz. La puissance maximale admissible est de 20 W, ce qui est généreux compte tenu de l'importance du rendement. Ce haut-parleur couvre la bande 50 Hz - 5 kHz avec une excellente linéarité. La chambre de compression 2 pouces KL-L301 figure parmi les plus belles réussites mondiales pour ce type de transducteur. Son rendement est très élevé : 112 dB/m/w. Comme pour le KL-L401, la taille de son circuit magnétique renfermant la bobine d'excitation (impédance 2800  $\Omega$ ) nécessite un soutien mécanique à l'aide de cornières. Sur ce modèle, étudié pour couvrir la bande 500 Hz - 15 kHz, la fréquence de résonance principale est de 350 Hz. Le rendement très

élevé est le résultat de la conjonction d'un équipage mobile très léger (membrane en duralumin, diamètre utile 7 cm, épaisseur 25 microns, suspension plate), d'un entrefer étroit dans lequel règne une induction élevée (18 000 Gauss soit 1,8 Tesla). La bobine mobile possède une impédance de 15  $\Omega$ , comme pour le KL-L401. La pièce de phase est une version traditionnelle à fentes annulaires concentriques. L'ensemble des éléments constituant ce moteur est d'une fabrication extrêmement soignée. Souvent se pose le problème de rupture des fils de la bobine mobile, en particulier juste au niveau de la suspension plate ou tangentielle. Les micro-flexions de la suspension répétées à l'infini produites par l'émission acoustique agissent en effet, précisément aux endroits où les modes de vibrations changent brutalement (passage d'une partie rigide à une partie souple) sur les liaisons de la bobine mobile en leur imprimant un effet de cisaillement, de la même manière que lorsque l'on essaie de rompre un fil métallique en le pliant au même endroit de nombreuses fois. Les tweeters, les dômes de médium ou d'aigu et parfois aussi les chambres de compression connaissent ce défaut qui peut n'apparaître qu'après plusieurs mois d'utilisation.

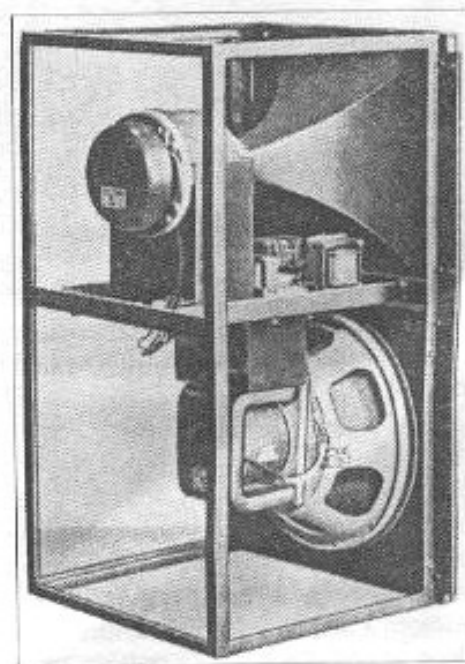


Figure 5. Système deux voies Klangfilm "Eurodyn" (d'après notice technique de l'époque).

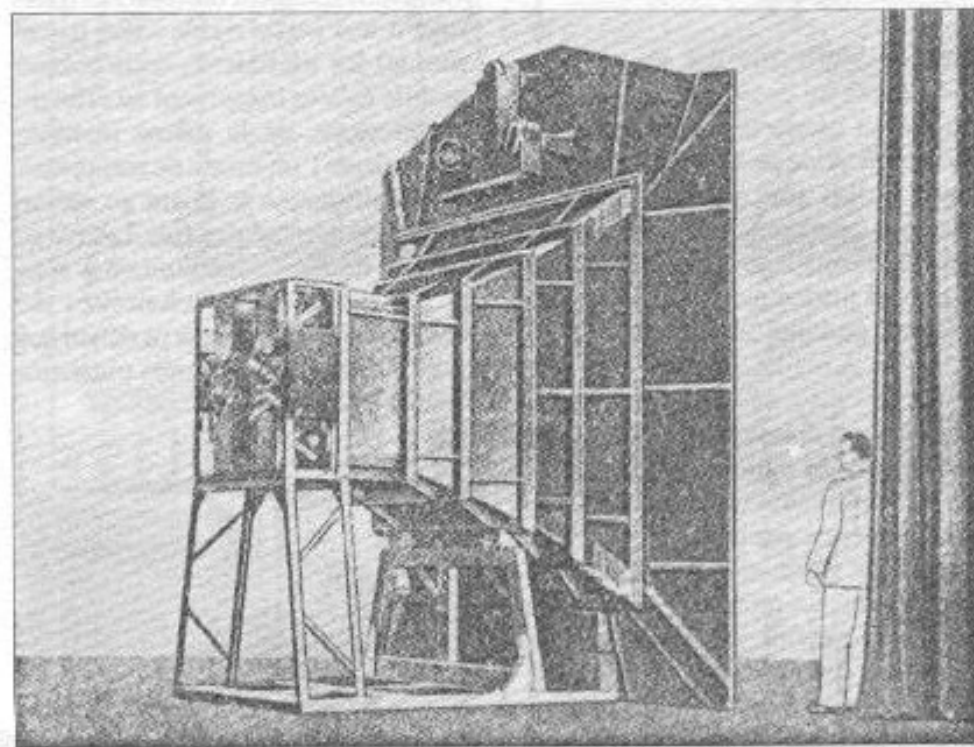
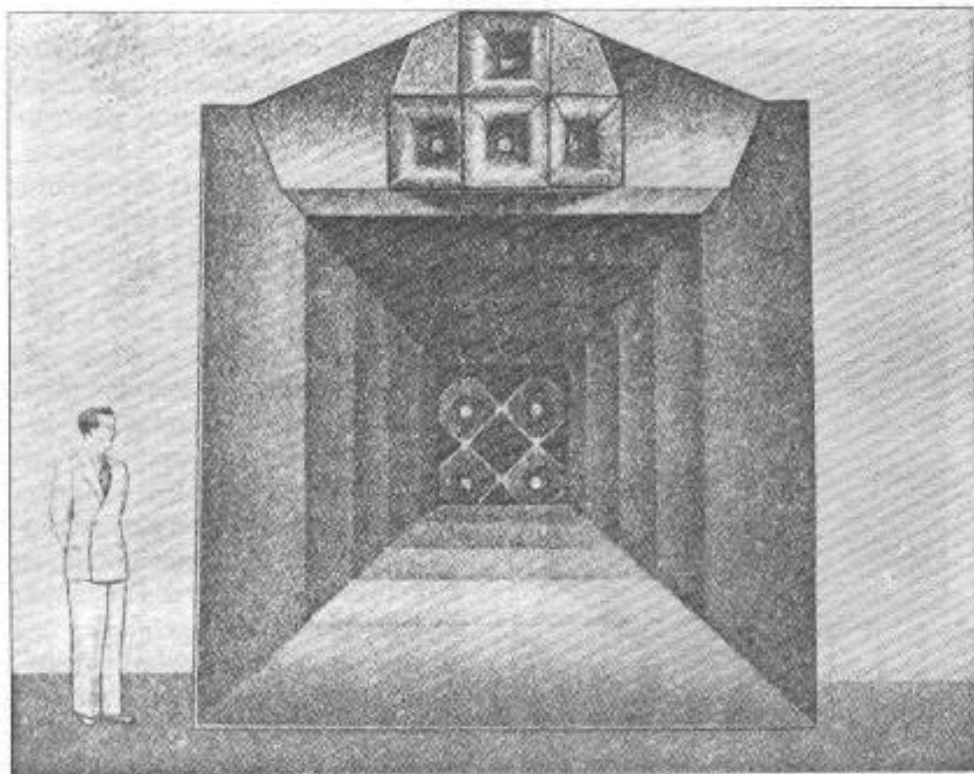


Figure 6. Système Klangfilm Euronor, conçu pour les grandes salles de spectacle. C'est l'un des plus imposants conçus à l'époque pour les applications du cinéma parlant.

Sur le KL-L301, Siemens adopte le principe de la liaison souple par boucle. Stable mécaniquement, elle est peu utilisée sur les réalisations récentes car elle supporte mal les transitoires à forte puissance, tandis que dans le cas des liaisons collées traversant la suspension, on profite d'une meilleure dissipation thermique... mais avec le risque cité plus

haut. Dans le cas du moteur Klangfilm, le rendement élevé permet de réduire l'admissibilité en puissance (environ 20 watts) sans pour autant réduire la puissance acoustique maximale. Cette dernière peut en effet atteindre et même dépasser 120 dB à 1 m. Ce moteur de diamètre externe 185 mm pèse 20 kg. Le courant traversant la bobine d'excita-

tion procurant un léger échauffement de celle-ci, deux trous ont été aménagés dans la culasse en vue d'une meilleure ventilation.

Le pavillon associé au moteur KL-L301 est particulièrement court, soit 24 cm seulement. Son embouchure est de forme carrée, 36,5 x 36,5 cm. Contrairement aux suppositions, la formule d'expansion de ce pavillon n'est pas exponentielle. Elle semblerait plutôt exponentielle jusqu'à une progression de 12 cm. Ensuite le pavillon s'ouvre très rapidement, jusqu'à 180°. La fréquence de coupure de ce pavillon est malgré tout de 450 Hz. Klangfilm et ses ingénieurs semblent y avoir recherché une certaine directivité "contrôlée", de façon à éviter les réflexions inutiles des murs et du plafond. Ce pavillon en fonte d'aluminium particulièrement rigide fut construit pendant une dizaine d'années. Siemens/Klangfilm réalisa ensuite une version moderne des haut-parleurs et des pavillons. Le moteur de médium-aigu prenant successivement les références KL-L302, 303 jusqu'à 307. Idem pour le haut-parleur grave : KL-L402, 403, 404 et 405. Tous ces modèles étaient équipés d'aimants permanents de type Alnico. A partir de 1970, la référence Klangfilm qui était restée encore présente après 1954 disparut. Siemens créa alors un nouveau moteur, de 1 pouce cette fois mais conçu pour s'adapter au même type de pavillon, lequel fut par contre réalisé non pas en fonte d'aluminium, mais en ébonite.

Les premiers haut-parleurs KL-L301 et KL-L401 furent utilisés sur différents systèmes modulaires qui portent

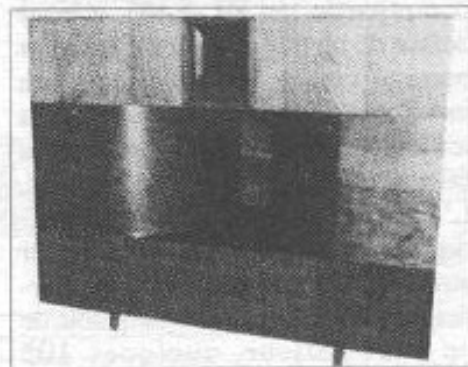


Figure 7. Enceinte deux voies Klangfilm "Bionor". Elle est équipée de deux haut-parleurs grave KL L301 chargeant un pavillon de 2,50 m d'embouchure.



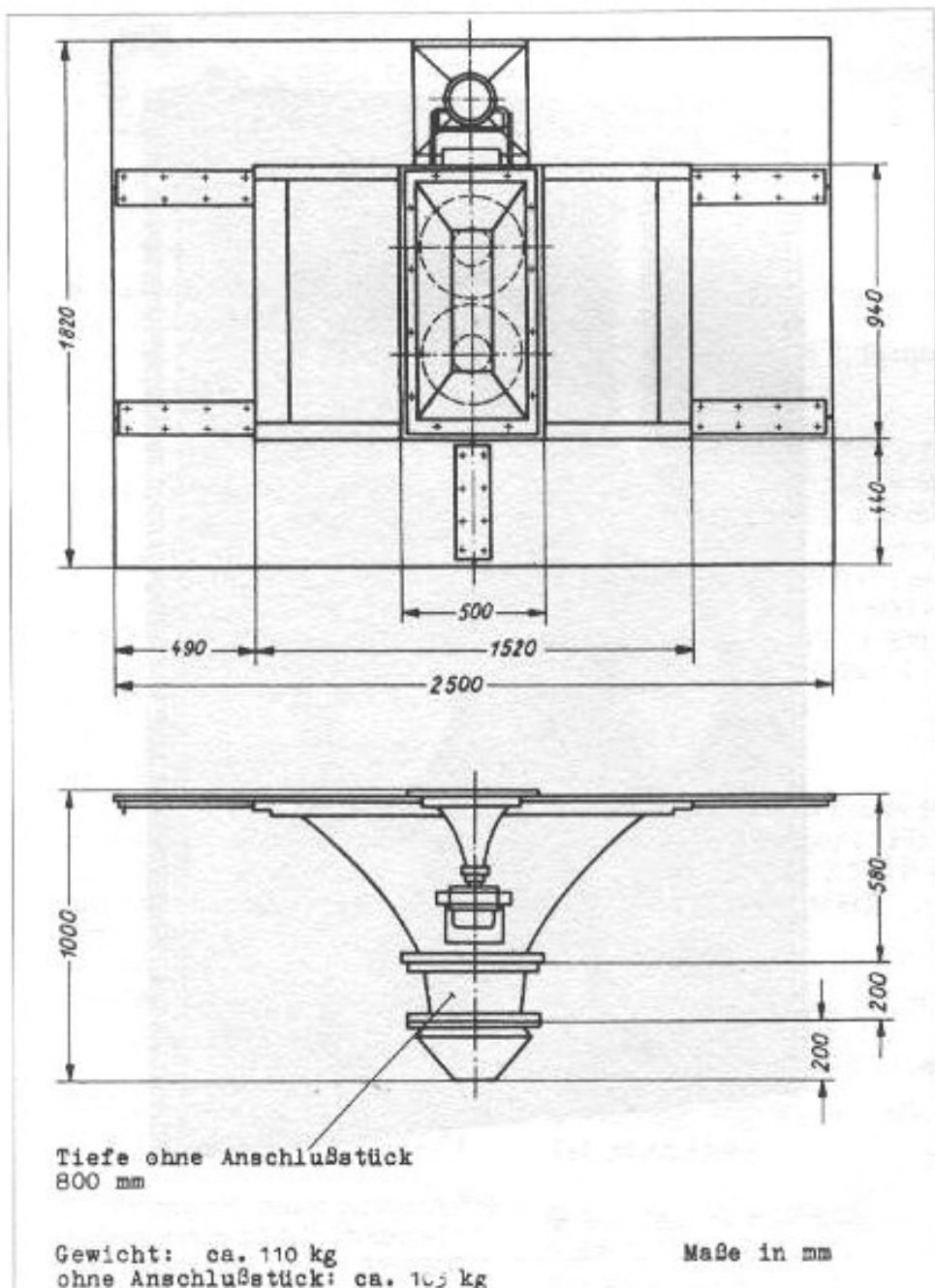


Figure 8. Plan de l'enceinte Klangfilm Bionor (1953)

les noms de Eurodyn, Euronor, Europa, Bionor, Euronor Junior. On constate que, exception faite du modèle particulièrement imposant baptisé Euronor, Klangfilm s'est efforcé de réaliser des systèmes de haut-parleurs peu encombrants du moins en profondeur. Même dans les grandes salles (les Euronor ont équipé des salles de cinéma de plus de 2000 places) l'espace disponible derrière les écrans n'était pas toujours très important. Le succès rencontré par la version "Eurodyn", qui se "contentait" d'un grand baffle de dimensions 2,40 m x 2,40 m (2 x 2 m sur les dernières versions) est sans doute lié au prix compétitif, aux perfor-

mances surprenantes tout autant qu'à un encombrement en profondeur inférieur à 42 cm seulement. Le châssis principal de la première version Klangfilm Eurodyn est représenté sur la figure 4. Le châssis réalisé à partir de profilés en fer assemblés par soudure mesure 81,5 cm de haut, 45 cm de large et 41,5 cm de profondeur. A mi-hauteur se trouve autour des pièces de maintien des haut-parleurs le filtre passif avec entrée 15  $\Omega$ , "100 V" 500, 100 et 2000  $\Omega$  (la liaison dite "100 V" est souvent utilisée dans les salles afin de réduire les pertes de transmission entre la cabine de projection et les enceintes situées derrière l'écran. Le filtre pas-

sif est une configuration classique avec fréquence de coupure 500 Hz, pentes d'atténuation de 12 dB/octave pour les deux voies et atténuateur 15  $\Omega$  dans l'aigu. La figure 5 représente la vue arrière du système Eurodyn, provenant de la notice technique de l'époque.

Le système Euronor, le plus imposant de la gamme Klangfilm était constitué de quatre haut-parleurs 38 cm KL-L401 chargeant un énorme pavillon exponentiel de 3,50 m de largeur et de 3,80 m de hauteur avec à son sommet, un assemblage de quatre haut-parleurs de médium-aigu KL-L301 orientés pour améliorer la portée dans les grandes salles. Très rare de nos jours, fabriqué en petite série seulement, c'est lui aussi un concurrent direct des grands systèmes américains conçus pour le cinéma parlant que l'on a connu chez RCA, Altec et Western electric. Il est représenté sur la figure 6. La "petite" version baptisée "Bionor", référence KL-L433 obtint un succès plus marqué. Elle est représentée sur la figure 7 avec son plan également. Elle était équipée de deux haut-parleurs grave et d'un haut-parleur de médium-aigu. On

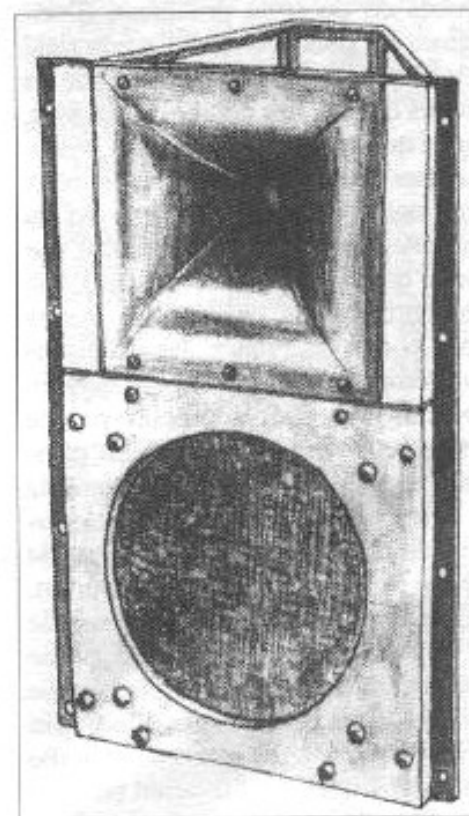


Figure 9. Avant dernière version du système 2 voies Siemens Eurodyn (d'après un dessin de K. Ito, ancien importateur de Siemens au Japon).

remarque que malgré sa largeur (2,50 m) sa profondeur était de 1 m seulement.

L'avant dernière version de l'Eurodyn parut en 1968 sous la référence C71233-A6-A-1. Avec, par rapport à la première version, le remplacement du moteur 2 pouces par le moteur 1 pouce Siemens C70246 accompagné du pavillon en ébonite C70233 (figure 9). Sur la dernière version Eurodyn, commercialisée entre 1976 et 1982 environ, Siemens supprime le superbe haut-parleur grave de 38 cm à aimant Alnico très recherché aujourd'hui mais quasi introuvable) par trois haut-parleurs de 25 cm, identiques à ceux du célèbre "coaxial" Siemens, mais sans la lentille acoustique ni le tweeter, comme on peut le voir sur la figure 10. Sur ces derniers modèles, il semble pas utile de cacher que Siemens fit largement appel à la sous-traitance, (sauf pour les chambres de compression 1 pouce), ce qui fut aussi progressivement le cas avec les tubes qui, fabriqués réellement dans les résines Siemens jusqu'à la fin des années 60 n'avaient et n'eurent plus tard de Siemens que le logo et la boîte, les tubes en question provenant d'origines les plus diverses. La notoriété de Siemens est cependant telle que les tubes qui portent cette marque sont, quel que soit leur provenance, synonymes de qualité. De leur côté, ceux qui ont connu le tube triode Ed ou tétrode F2a savent qu'ils étaient d'une telle qualité de fabrication qu'ils se reconnaissent entre mille. Assez peu connu en France, les différents systèmes de haut-parleurs Klangfilm et Eurodyn sont appréciés par de nombreux "fans" dans plusieurs pays, au Japon en particulier où, d'après la société Kamigen, l'importateur Siemens de l'époque, il s'est vendu près de 1000 systèmes Eurodyn. Quant aux démonstrations de l'Espace Kiron de mars 93 où se déroulèrent des écoutes en compagnie d'une paire de systèmes Klangfilm Eurodyn, elles ont sans aucun doute montré l'intérêt qu'il fallait porter à ce type "d'antiquité", ainsi qu'aux moteurs à excitation qui, sans être inexistant, sont devenus très rare parmi les maillons haute fidélité.

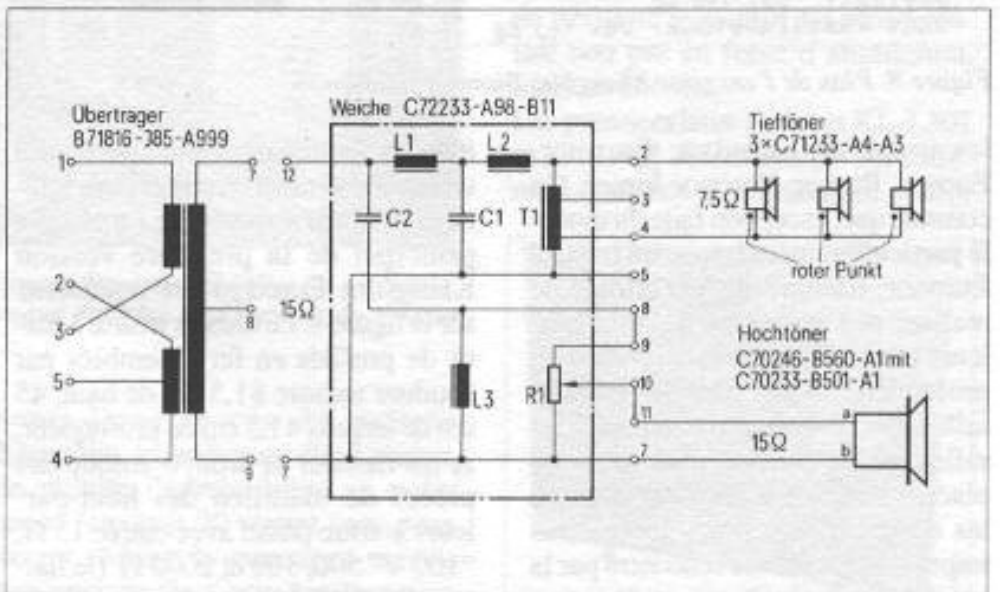
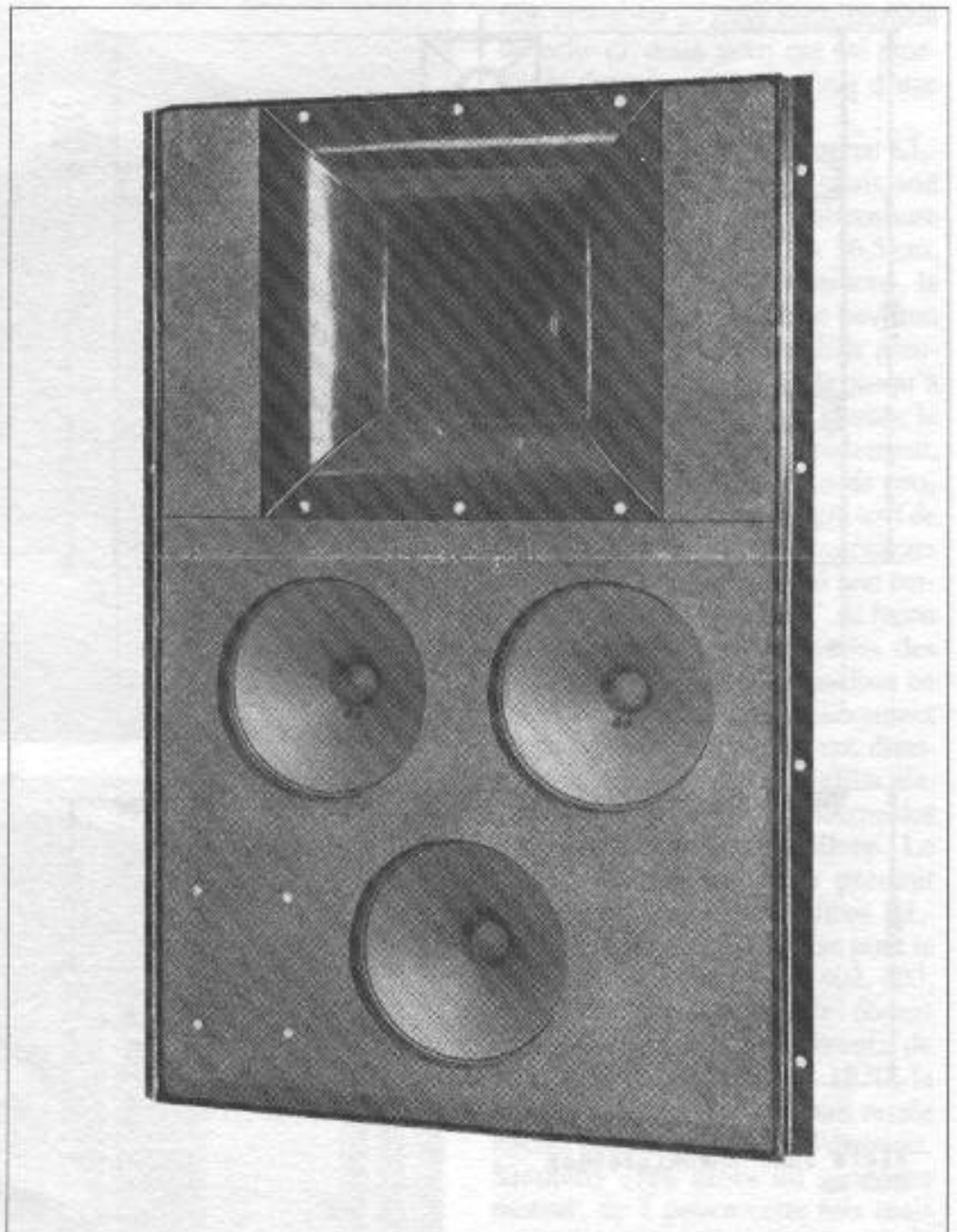


Figure 10 : Dernière version du système Siemens-Eurodyn, commercialisé entre 1976 et 1982. On note le remplacement du haut-parleur grave de 38 cm par trois haut-parleurs de 25 cm. Sur la voie grave le filtre comporte un adaptateur d'impédance par auto-transformateur 2,55 Ω - 15 Ω.

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

# POINT DE VUE

## Le système de correction d'Environnement Acoustique **SIGTECH AEC 1000**

**L**

*Philippe David*

*es audiophiles, tout comme les ingénieurs du son, ont souvent été confrontés à des problèmes d'acoustique provoqués par l'association d'un système de diffusion sonore et du lieu d'écoute qui est rarement construit exclusivement pour la diffusion sonore électroacoustique.*

En effet, les différences entre un auditorium dimensionné en fonction des caractéristiques des enceintes et le salon d'un particulier sont grandes. Même les studios d'enregistrement dignes de ce nom ne peuvent, malgré leur isolation et leur insonorisation, s'affranchir de problèmes tels que la réverbération inhérente à la grande surface métallique de leur console de mixage, des baies saturées de matériel électronique, des machines tournantes, etc.

Le salon de l'audiophile est souvent pourvu de fenêtres dont le

verre a un coefficient d'absorption acoustique quasi-nul, en se référant à la table de Sabine, et les murs parallèles, favorisant les ondes stationnaires, ne sont revêtus, au mieux, que de tapisserie à l'épaisseur insuffisante, sans oublier les meubles qui jouent eux aussi leur rôle dans la dégradation de la perception sonore.

Des mesures permettent de mettre en évidence la réponse en fréquence, dans un local d'écoute, d'une paire d'enceintes acoustiques : on remarque que la courbe réalisée au moyen d'instruments de

mesure précis s'est singulièrement écartée de celle effectuée en chambre sourde, jusqu'à atteindre une vingtaine de dB d'amplitude autour du niveau de référence !

Imaginons un auditeur placé à 2,50 m d'une enceinte située à 1 m du sol : le son se réfléchissant sur celui-ci arrivera à l'auditeur seulement 2 millisecondes après le son direct, ce qui provoque une opposition de phase aux alentours de 280 Hz, et donc une importante perte de niveau autour de cette fréquence. De plus, au cours des millisecondes suivantes, le son va



L'AEC 1000 et sa télécommande filaire (source d'entrée niveau, VU-mètre, les quatre sélections et leur bypass).

se réverbérer sur les murs, le plafond, et sur toutes les autres surfaces réfléchissantes, ce qui produira de nouvelles annulations de phase ; il a été démontré que, durant les 50 premières millisecondes suivant l'arrivée du son direct, les réflexions produites étaient la cause principale du phénomène de coloration affectant l'équilibre timbral général, ainsi qu'une perte de précision de la scène stéréophonique. Au-delà, c'est-à-dire après 50 millisecondes, la réverbération n'est constituée que de réflexions qui ne sont pas nuisibles à l'intégrité du message sonore, du fait de leur perte d'énergie, surtout dans les hautes fréquences, par rapport au son direct.

Un égaliseur de fréquence peut apporter une amélioration, mais il ne peut agir qu'en compensant ou en réduisant des creux ou des bosses dans la réponse en fréquence et ce réglage, si optimisé soit-il, ne sera valable que dans une petite zone dans laquelle on aura essayé de créer un compromis, sans contrôle sur d'autres zones même

contiguës au point d'écoute, à tel point que le remède peut devenir pire que le mal : pour reprendre l'exemple donné plus haut, où il est question d'un notch vers 280 Hz : que se passera-t-il si l'on augmente le niveau à cette fréquence ?

L'auditeur aura l'illusion d'avoir retrouvé son bas-médium, mais il aura proportionnellement déséquilibré la diffusion hors de sa petite zone d'écoute privilégiée : loin de régler les problèmes, l'égaliseur en rajoute : **il faut donc agir tant sur le fréquentiel que sur le temporel** pour obtenir des résultats probants.

C'est là tout l'intérêt du SigTech : la base du système fonctionne au moyen d'un calculateur DSP de la famille Motorola 56000 qui travaille à la vitesse de 250 millions d'instructions par seconde, ce qui lui confère une rapidité de calcul lui permettant de piloter les 24 processeurs en cascade 56200 qui constituent les deux canaux de filtrage en temps réel ("FIR" pour Finite Impulse Response). Temps réel ou presque, puisque le SigTech ne retarde le signal que de 150 µs si

l'on utilise les entrées numériques (AES sur XLR, SPDIF sur Cinch, Optique sur Toslink, tout comme sur les sorties) ou de 2 ms à partir des entrées analogiques (symétriques sur XLR ou asymétriques sur Cinch, de même en sortie).

Les convertisseurs A/D et D/A sont de type 18 bits à suréchantillonnage octuple et le calcul interne s'effectue avec une précision de 48/56 bits dans le but d'éviter la dégradation du signal pendant le traitement. L'exploitation du système requiert un compatible PC et le logiciel spécifique AEC.

Le SigTech émet des salves de signaux impulsionnels, via la chaîne électroacoustique, recueillis par un micro-étalon qui va les restituer au système afin de calculer un filtre inverse grâce à l'inévitable transformée de Fourier qui permet d'analyser le contenu spectral d'un segment d'onde exprimé de façon temporelle.

Chaque filtre est, en fait, une série de huit filtres se partageant le spectre audio et qui sont calculés un par un avec une résolution de N segments, pour :

$$N = 0,89 \times \frac{F \cdot s}{F \cdot \text{res}}$$

F.s étant la fréquence d'échantillonnage et F.res la résolution en Hz, chaque canal pouvant effectuer un filtrage sur 2544 segments à 44,1 kHz et sur 2316 segments à 48 kHz;

Il est possible d'intervenir sur ces paramètres de manière à réduire ou à augmenter la résolution du filtre dans une bande de fréquence choisie, et aussi d'agir sur son efficacité. Le système offre également le loisir de définir au départ une "courbe cible" à laquelle l'algorithme de correction se conformera. Outre les manipulations nécessaires au déroulement des phases d'analyse et de calcul, l'ordinateur sert à visualiser des courbes, ainsi par exemple deux traces peuvent être comparées sur un seul graphique, ce qui est très utile. Divers modes

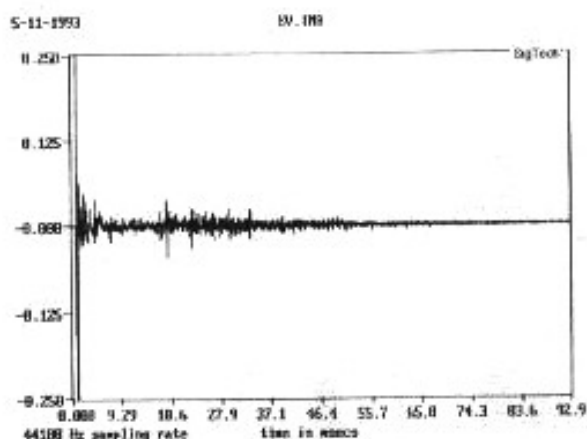
d'affichage sont aussi disponibles, comme le montrent les résultats de mesures en fin d'article.

Lorsque le SigTech a terminé l'élaboration de ses filtres de correction, et que l'utilisateur a obtenu

le résultat escompté, l'ordinateur peut être débranché, la télécommande permettant l'accès à quatre sélections, ainsi qu'une fonction de bypass pour la comparaison du son normal et du son corrigé dont on

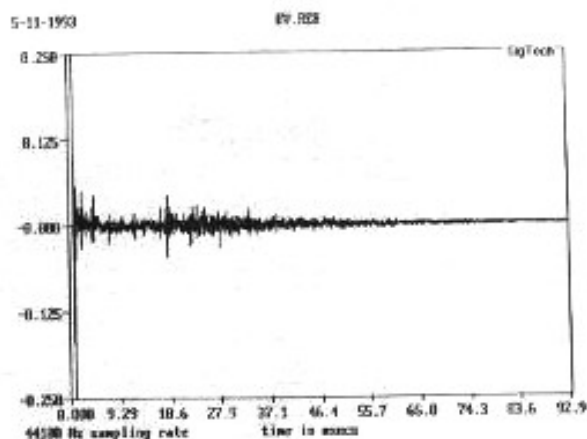
reconnaît instantanément les caractéristiques, même en aveugle, tellement l'image stéréophonique, la définition des instruments, des voix et autres événements sonores ont gagné en clarté et en précision.

### Sigtech en bypass

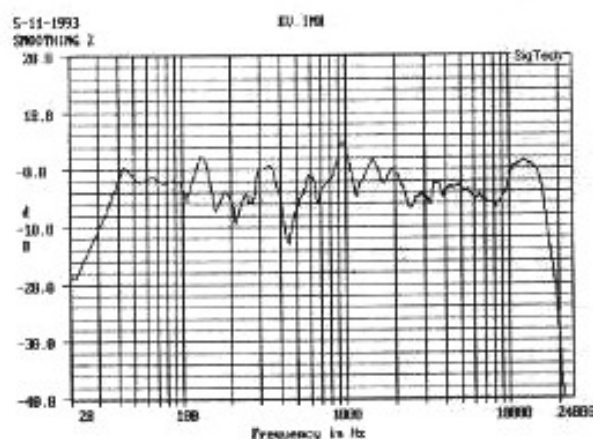


Signal impulsionnel non corrigé.

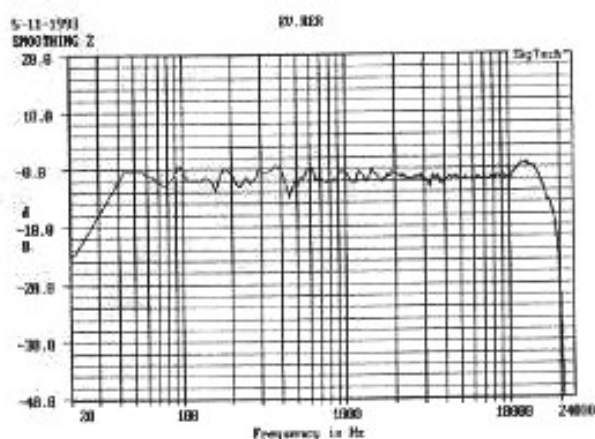
### Sigtech en fonction



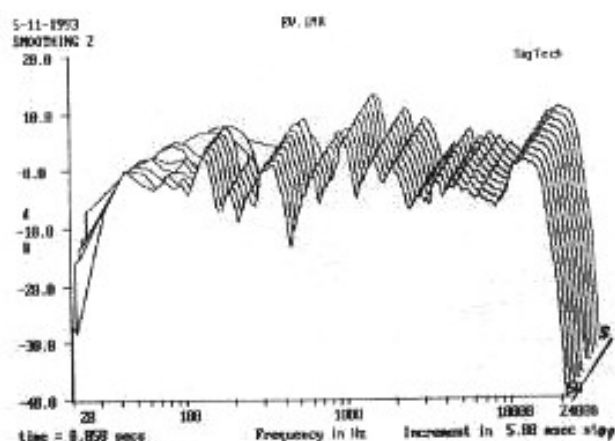
Signal impulsionnel corrigé. Notez les différences à 5 ms.



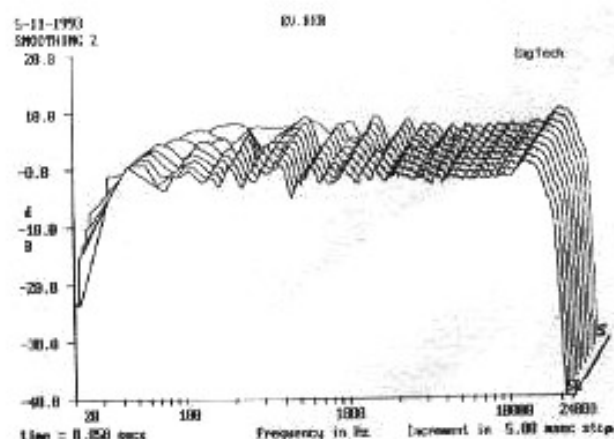
Réponse en fréquence déduite de la mesure précédente.



Réponse en fréquence corrigée.



Réponse en fréquence de 5 à 50 ms.



Réponse fréquence/temps corrigée.