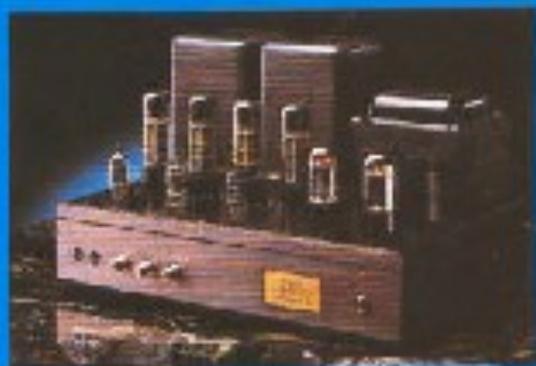


N° 22 NOUVEAUX SERIE 16 ANNES

L'AUDIOPHILE

HAUTE FIDELITE PLUS!

PANORAMA DES AMPLIS A TUBES ET DES CABLES HAUTE DEFINITION



• **THEORIES
TRANSDUCTEURS
ELECTROSTATIQUES**
OU LE CHANT DES
CONDENSATEURS (III)



CLASSIQUE

les grands disques du
printemps et de l'été

JAZZ

autour du big band

- **POINT DE VUE
ANALOGIQUE OU
NUMERIQUE ?**
- **IDEES NOUVELLES
FAUT-IL BRULER
FOURIER ?**
- **QUOI DE NEUF ?
NOUVELLES
APPLICATIONS DE
L'AUDIO NUMERIQUE**
- **POINT DE VUE
HP SANS CONCESSION
OU L'HISTOIRE D'UNE
INSTALLATION**

M 2569 - 92 - 55,00 F - RD



**Page non
disponible**

Quoi de neuf?

NOUVELLES APPLICATIONS DE L'AUDIONUMÉRIQUE

Jean Hiraga



ses débuts, c'est-à-dire à la fin des années 60 l'audio numérique était une technologie que l'on n'appliquait guère que sur quelques maillons professionnels d'avant-garde. Les premiers magnétophones audio numériques incitèrent des firmes comme Denon à lancer des disques gravés à partir de sources codées en PCM. La période de lancement du compact-disc fut également celle où commencèrent à surgir des prototypes, des nouveaux types de maillons à vocation professionnelle dont les versions Grand Public ne se sont vulgarisées que récemment. On s'est familiarisé avec le compact-disc et avec le DAT. On le sera bientôt avec le DCC, le Mini-disque et aussi avec la micro-cassette NT qui est déjà disponible. Les processeurs audio numériques étendent désormais leurs applications aux préamplificateurs, aux amplificateurs, aux filtres actifs, aux correcteurs "DLP" pour enceintes et salle d'écoute.

Dès la fin des années 60

C'est à partir de la fin des années 60 que les technologies audio appliquées aux domaines professionnels et Grand Public s'imprégnèrent peu à peu de techniques numériques. Des circuits, des produits parfois mis au point très tôt furent tantôt commercialisés, tantôt relégués aux oubliettes pour réapparaître plus tard sous une forme plus évoluée ou encore mieux adaptée aux impératifs du marché. Les processeurs d'effets sonores autrefois très coûteux, étaient réservés aux professionnels du son. On les trouvait, dès la fin des années

70 chez Advent, Roland ou Lexicon. Aujourd'hui ils s'intègrent sur des chaînes hi-fi dont le prix peut rester inférieur à 6000 F. Ces derniers mois, la presse spécialisée a fait couler beaucoup d'encre à propos des magnéto-cassettes audio numériques faisant appel aux nouveaux formats DCC ou NT. On pourrait à ce propos faire la remarque qu'en mars 1983, le groupe de recherches audio Matsushita avait présenté lors d'un congrès de l'AES qui s'était tenu à Eindhoven un prototype de magnéto-cassette audio numériques. Cet appareil, que l'on trouvera représenté sur la figure 1, utilisait une cassette compacte standard équipée d'une bande métal utilisée en deux fois 12 pistes, quantification 16 bits

linéaire, échantillonnage 44,1 kHz. Il était obtenu ainsi une durée totale de lecture de 60 minutes. Comme on le voit, on n'était pas loin du format DCC, à la compression des données près. Ce prototype ne put être commercialisé pour différentes raisons : vitesse de défilement deux fois supérieure à la normale, soit 9,5 cm/sec, coût de revient des têtes fixes, compatibilité entre appareils, qualité de la bande et de la cassette. Toujours en 1983, le même groupe Matsushita développa un autre magnéto-cassette, en faisant cette fois appel à une micro-cassette utilisée en bureautique, mais avec une bande métal (métal évaporé) et une fréquence d'échantillonnage plus basse, soit 32 kHz. Le prototype,

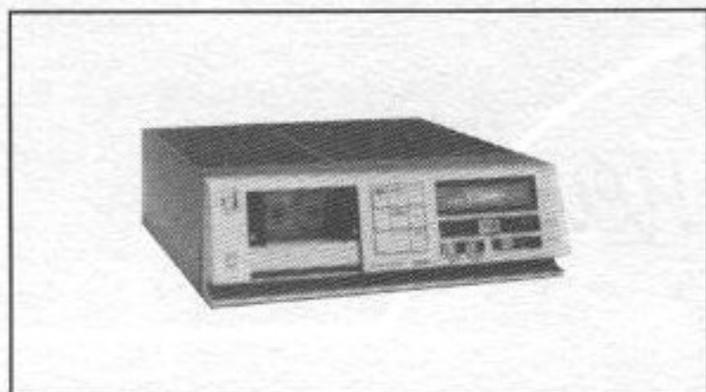


Fig. 1 : Prototype de magnétocassette audionumérique présenté par le groupe Matsushita en mars 1983. Il utilisait une cassette compacte standard équipée d'une bande métal. C'était une version 16 bits linéaire/44,1 kHz utilisant 12 pistes par face.



Fig. 2 : Prototype de magnétocassette audionumérique présenté par le groupe de recherches Matsushita en 1983. Il utilisait une micro-cassette, mais avec bande métal et une fréquence d'échantillonnage de 32 kHz.

que l'on voit sur la figure 2 fonctionnait mais posait les mêmes problèmes que le précédent vis-à-vis d'une éventuelle commercialisation. Ces échecs sont en majeure partie liés à un problème de densité d'enregistrement par cm², de bande, et de têtes. Pour mener à bien ces projets il aurait fallu atteindre et même dépasser des valeurs comprises entre 3 et 6 M bits/cm². Voilà pourquoi, dès la fin des années 70, bien des chercheurs se mirent à travailler sur différents systèmes de compression des données, ceci afin d'éviter une utilisation des supports magnétiques trop près de leurs limites théoriques. Les formats DCC, NT, pour les supports magnétiques ainsi que le format mini-disque pour les supports optiques sont des aboutissements concrets de ces recherches. Ils représentent aussi, il ne faut pas le cacher, un compromis sur les critères de qualité, de coût de revient, de taille et de densité d'enregistrement. Récemment, on a beaucoup fait état des processus dit "DLP" (Digital Loudspeaker Processor) pour la correction des haut-parleurs, incluant parfois celle de la salle d'écoute. Cette idée n'a rien de vraiment nouveau, même en technologie audionumérique, mis à part des progrès très significatifs au niveau du nombre de fonctions, de l'intégration, voire de la baisse des coûts de revient. En 1982, la firme américaine AR avait notamment proposé son "ADSP", un processeur audio numérique conçu pour la correction de l'ensemble enceintes + salle d'écoute. En 1979,

Advent lança son SCC, "Sound space Control", une ligne de retard numérique codée en 8 bits, avec différents paramètres (taille de la salle, temps de réverbération ajustable, figure 3). En plus, cet appareil était doté de contrôles de tonalité, de façon à assurer une bonne uniformité de l'équilibre tonal entre les différentes enceintes. Des spécialistes comme Lexicon sont des précurseurs en la matière puisque l'on trouve chez ce dernier des maillons audionumériques dès 1971. Dans les secteurs professionnels comme Grand Public ces maillons de technologie audionumérique se sont diversifiés et multipliés. Il semble utile d'en parler, car certains d'entre eux pourraient d'ici quelques années ouvrir la voie à de nouvelles générations d'appareils dans le créneau Grand Public.

Egaliseur Yamaha DEQ-5

Cet égaliseur Yamaha reprend dans ses grandes lignes des fonctions que l'on a déjà pu trouver sur des pré-amplificateurs équipés d'un processeur numérique de signal de type DSP. Chez ce constructeur qui fut, rappelons-le, le précurseur en matière de vulgarisation du DSP à partir de 1986, le développement très rapide de ces nouveaux produits incita le département audio professionnel Yamaha (en France, l'importation des produits hi-fi et professionnels n'est pas assurée par la même société) à développer plusieurs produits parmi lesquels figurent le DEQ-5

(figure 4). Cet égaliseur numérique stéréo 2 canaux fait appel à une conversion analogique/numérique 19 bits ainsi qu'à une conversion numérique/analogique 20 bits. Il inclut, en plus des possibilités offertes par les processeurs DSP Yamaha, par les circuits à haute intégration LSI, un égaliseur 30 bandes avec possibilité de réglage des surtensions, un réseau de 6 plages de fréquences à égalisation paramétrique, soit un total de 40 bandes ajustables. Les différents réglages effectués apparaissent sur un analyseur de spectre équipé de 30 bandes de fréquences. Plus de 40 combinaisons principales sont possibles (égaliseur 30 bandes, correcteur paramétrique). Il s'y ajoute d'autre part des filtres passe-haut, passe-bas ou rejeteurs de bande à pentes très raides ainsi qu'une banque de mémoires. Un élément DEQ-5 peut d'autre part commander jusqu'à 23 éléments DSE5E, lesquels sont des "esclaves", versions simplifiées du DEQ5E, d'où la possibilité d'effectuer des corrections très variées en 24 pistes, sans les défauts et les inconvénients qu'offraient jusqu'à présent les systèmes analogiques.

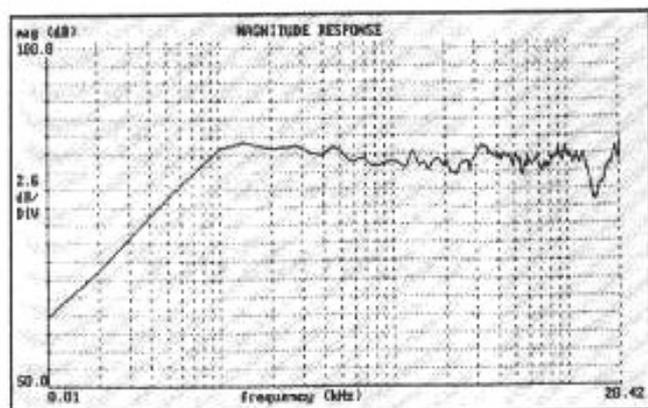
Filtre actif D 2040

Toujours dans le département audio professionnel Yamaha vient de commercialiser le filtre actif 4 voies stéréo D 2040 (figure 5). On sait sans doute à quel point la multi-amplification est populaire au Japon, ne serait-ce qu'en comptant le nombre de modèles disponibles sur

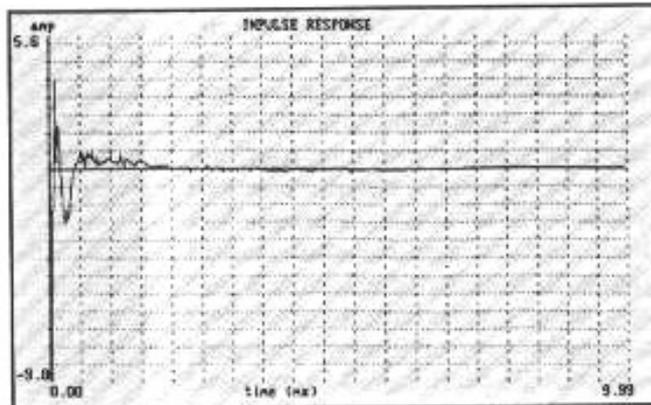
le marché local. A ce sujet, beaucoup de puristes en haute fidélité ont pu s'apercevoir que l'association en mode actif de différents haut-parleurs nécessitait chaque fois l'insertion d'un filtre actif parfaitement adapté. Dans ces conditions, on s'aperçoit qu'il n'est plus possible de se contenter de coupures standard et de pentes d'atténuation identiques pour toutes les voies. Un tweeter donné peut

fonctionner de façon quasi idéale en association avec un filtre passe-haute à pente très raide, soit 48 dB/par exemple, alors qu'en analogique et parmi les maillons de haut de gamme on dépasse rarement les 24dB/octave afin de ne pas trop compliquer les circuits. Bien qu'il s'agisse d'un appareil conçu pour la sonorisation professionnelle de qualité, ce filtre actif numérique offre des possibili-

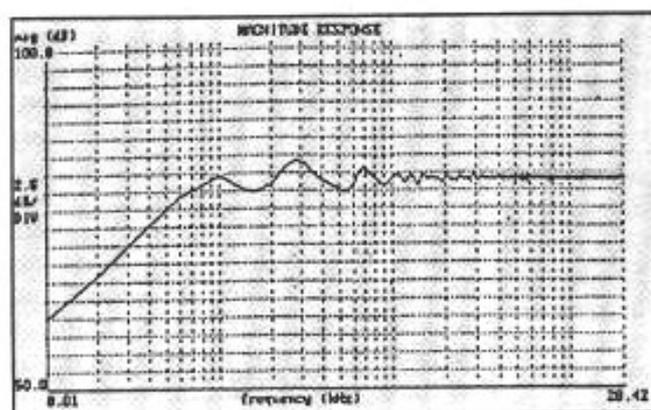
tés qui sortent largement du cadre de celles offertes d'habitude en analogique. Jusqu'à présent les filtres analogiques les plus universels offraient plusieurs pentes d'atténuation dans chaque voie, des commutations en 2,3 et 4 voies, sorties canal central, soit encore un système de cartes enfichables (cas des filtres actif Accuphase, séries F-15). Le Yamaha D 2040 est un filtre actif numérique



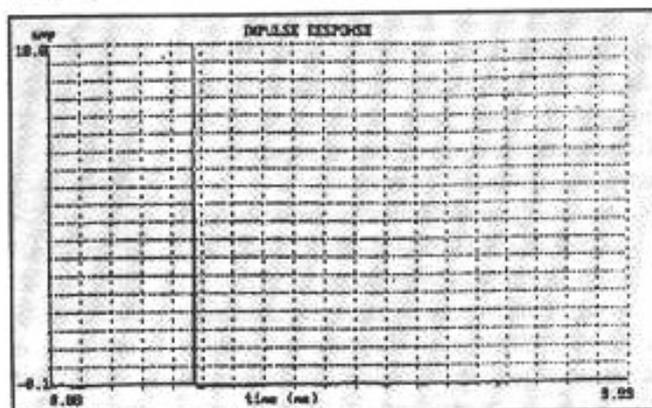
Réponse de l'enceinte avant égalisation numérique.



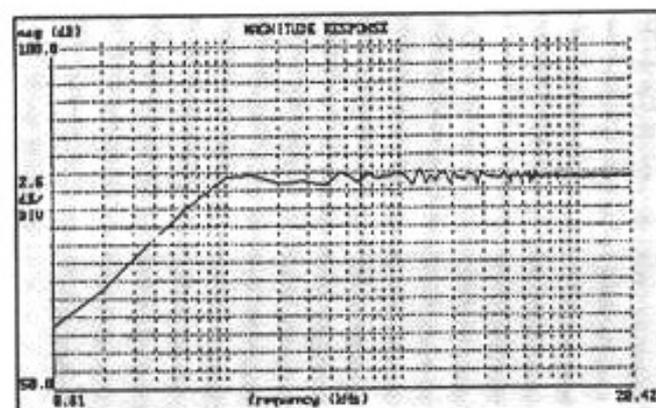
Réponse impulsionnelle de l'enceinte avant égalisation numérique.



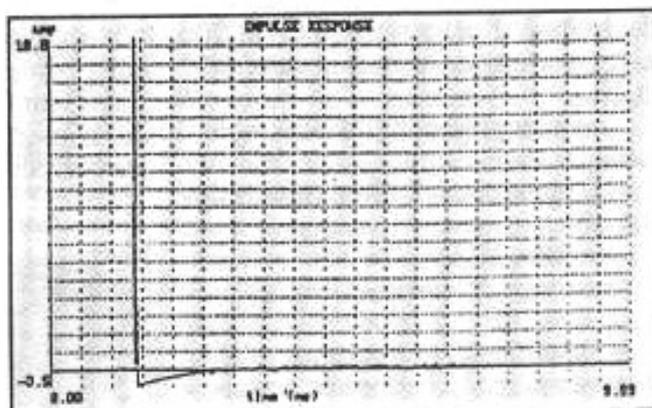
Réponse de l'enceinte après égalisation numérique, méthode FIR.



Réponse impulsionnelle de l'enceinte après égalisation numérique, méthode FIR.



Réponse de l'enceinte après égalisation numérique, méthode IIR.



Réponse impulsionnelle de l'enceinte après égalisation numérique, méthode IIR.

Fig 3 : Egalisation numérique sur enceintes, selon la méthode adaptée par Malcom Hawksford et Richard Greenfield. Résultats de mesures obtenus selon les filtres FIR ET IIR.



Fig 4 : Egaliseur numérique stéréo Yamaha DE Q5 (division audio professionnelle). C'est un égaliseur paramétrique aux possibilités très étendues, très performant que l'on peut associer à un maximum de 23 "esclaves" (DEQ 5E), voire à d'autres maillons Midi ou ordinateurs grâce à son connecteur RS-485.

stéréophonique 4 voies. Sur cette version professionnelle, les deux entrées peuvent être reliées directement à chacune des 4 voies (réception d'un signal numérique traité en numérique jusqu'à chaque convertisseur N/A de sortie). Lorsque les deux signaux d'entrée sont analogiques, ils transitent dans ce cas à travers deux convertisseurs A/N. En entrée, les convertisseurs sont des versions 19 bits. Les 8 convertisseurs N/A de sortie, soit 4 par voie, sont des modèles 20 bits. Tous travaillent sous une fréquence d'échantillonnage de 44,1 ou de 48 kHz. On obtient ainsi un rapport signal/bruit de 110 dB. Les 8 voies qui suivent les entrées ne sont pas de simples filtres numériques. Sur chaque voie on trouve dans l'ordre

- une ligne de retard ajustable (de 0 à 1300 ms en moyenne)
- un inverseur de phase
- un filtre passe-haut (ajustable entre 20 Hz et 16 kHz, pente d'atténuation réglable entre 6 et 24 dB/oct.)
- un filtre passe-bas (idem), le tout avec raccordements ajustables entre -3 et -6 dB
- un égaliseur paramétrique (bandes de 1/6ème d'octave, entre 20 et 20 kHz), surtension ajustable entre 0,5 et 10.
- un compresseur (limiteur ajustable)
- un atténuateur calibré (bonds de 0,5 dB)
- un filtre N/A
- un étage de sortie analogique

L'ensemble des circuits est relié à une mémoire (15 mémoires, tous les réglages inclus). Son contenu peut être transmis à d'autres appareils à l'aide de liaisons au standard RS-485. A gauche de l'appareil un afficheur multi-fonctions facilite les réglages et la vérification. Comme il fallait s'y

attendre, les entrées et les sorties analogiques sont symétriques (standard XLR-3-31 et le XLR 3-32).

Il est regrettable de constater qu'un filtre actif aussi sophistiqué ne soit disponible qu'en version professionnelle. Sur les systèmes de haut de gamme tri et quadri-amplifiés comme en sonorisation professionnelle on se trouve confronté à des problèmes connus tels que :

- limite d'admissibilité en puissance des transducteurs (varie sensiblement d'une voie à l'autre)
- écart de sensibilité des transducteurs conduisant à une répartition différente de la plage dynamique selon la voie, d'où la difficulté de trouver un réglage correct des voies sur une grande plage de puissance.
- disparité de la performance de réponse transitoire des haut-parleurs selon les voies entraînant des difficultés d'association et de fusion des différents registres de la gamme audio.

Différents problèmes cités, jusqu'ici impossibles à résoudre peuvent ainsi être combattus et traités avec efficacité. Les circuits limiteurs permettent aux transducteurs de fonctionner avec plus de sécurité. Les circuits compresseurs agissent en uniformisant les capacités dynamiques des haut-parleurs. Dans chaque voie, les correcteurs paramétriques parti-

cipent à l'obtention d'une meilleure neutralité, condition essentielle d'une bonne fusion de tous les registres. Les autres fonctions sont celles offertes par les filtres analogiques universels les plus sophistiqués, mais sans les inconvénients liés à la distorsion au bruit de fond ou à la transparence sonore.

Dans le domaine professionnel, de profondes mutations de ce genre sont à prévoir. Plusieurs tables de mixage numériques qui intègrent mémoires, DSP, multi-correcteurs paramétriques, liaisons MIDI, télécommande etc... sont déjà commercialisées (notamment chez Yamaha avec la série DMP).

Les circuits DLP

Il n'est pas facile d'établir de date précise en ce qui concerne la parution des premiers circuits dit DLP, Digital Loudspeaker Processor ou plus exactement des circuits d'égalisation numérique pour haut-parleurs. Les premiers égaliseurs analogiques des années 60 /70 environ étaient conçus pour des applications professionnelles. Ils furent suivis par d'autres versions réservées cette fois au haut de gamme audio. Les industriels de la hi-fi au Japon, JVC entre autres, appliquèrent ces idées sur leurs produits avec un succès qui s'étendit jusqu'aux bas de gamme, à la hi-fi de voiture. Le reste fut repris et transposé en numérique dès l'instant où l'on commença à vulgariser les processeurs d'effets sonores DSP. Ces exemples se retrouvent sous diverses formes chez Sony, Marantz, Yamaha, sans compter ceux qui pensèrent à placer dans un amplificateur intégré un convertisseur N/A. De là à placer l'amplificateur précédé d'un convertisseur N/A, voire d'une télé-

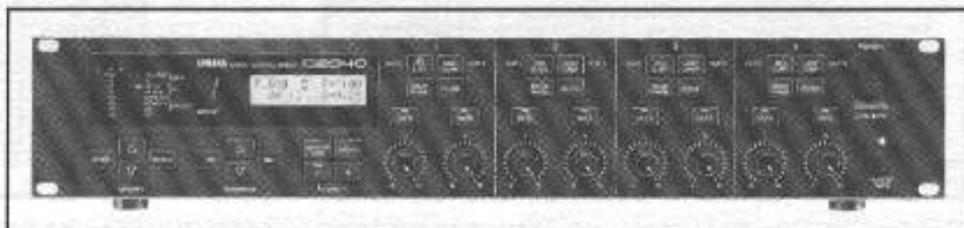
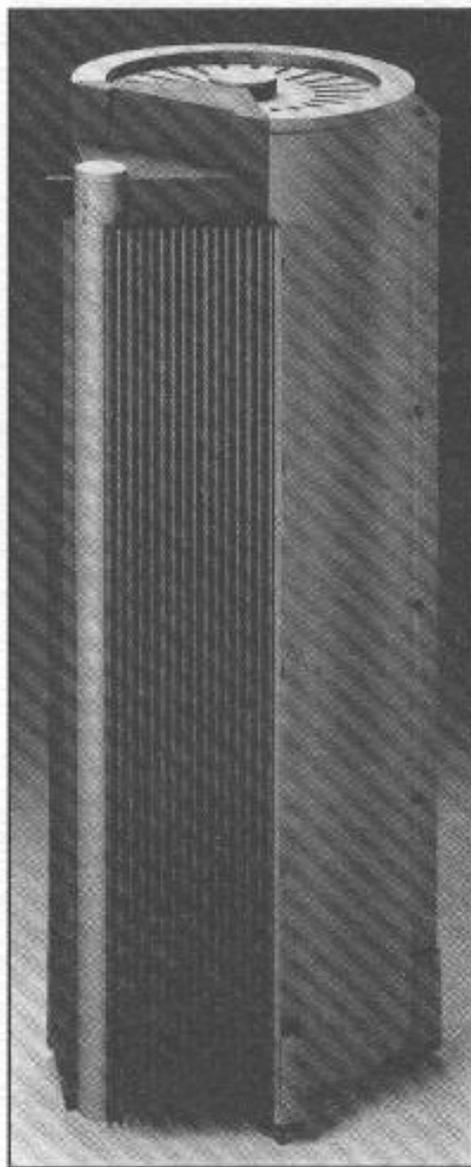


Fig 5 : Filtre actif 4 voies stéréo pour applications professionnelles Yamaha D 2040. Réservé aux professionnels du son, ce modèle très performant offre des possibilités qui dépassent largement celles des meilleurs filtres actifs analogique. Son rapport signal/bruit est de 110 dB (Yamaha, division audio professionnelle).

commande dans une enceinte, il n'y avait qu'un pas. Dans les revues audio professionnelles, dont celles de l'AES des chercheurs tels que J. Mourjopoulos, R.J. Wilson, G.S. Adams, J.B. Scott, R. Bews, Bob Stuart, C. Bean, P. Craven et plus principalement M.O. Hawksford et R. Greenfield firent état dans leurs articles de leurs recherches concernant les méthodes d'égalisation numérique des systèmes audio et des haut-parleurs, incluant parfois les salles d'écoute, ceci dès 1988. A ce titre, un article-clé fut celui de Michael O. Hawksford et R. Greenfield intitulé "Efficient filter design for Loudspeaker Equalization" (JAES, oct. 1991). Il fut, pour ainsi dire, le premier à démontrer, grâce aux circuits DSP ultra-rapides, aux filtres dits FIR et IIR (Finite Impulse Response et Infinite Impulse Response) que l'on obtenait des résultats plus que prometteurs, mesures et démonstrations à l'appui. Nous y reviendrons plus loin. En mi-1989, la firme britannique Méridian fut parmi les premières à présenter son modèle D 600. C'était une enceinte active incluant un amplificateur, un convertisseur N/A et un circuit de télécommande. Le tout était issu d'une recherche effectuée plusieurs années auparavant par la même firme. Le D600 était une colonne deux voies incluant des amplificateurs, un filtre actif incluant des corrections de la salle d'écoute et un système de télécommande très complet. Ce précurseur dans ce qu'on appelle haut-parleur numérique (qui existe, mais seulement au stade de la recherche) complète aujourd'hui les séries 600 d'autres maillons tels que les 607, 6000 et le préamplificateur Méridian 601 sur lequel toutes les entrées haut et bas niveaux, phono comprises sont converties en signal numérique avant de pouvoir être traitées avec de très étonnantes possibilités au niveau des corrections, des égalisations, des filtres, avec en prime la possibilité de mettre en mémoire tel ou tel réglage. Au début de cette année, le groupe hollandais Philips, (par ailleurs en retard de plus de deux ans et demi sur son projet initial de lancée de la cassette DCC) a annoncé la sortie d'une enceinte active, dont le prin-

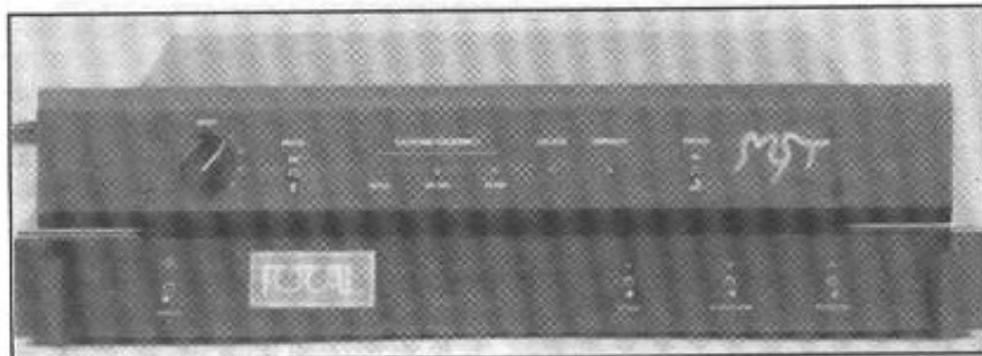


Amplificateur de puissance numérique Wadia 5. De puissance 200 w (8Ω), il est le premier du genre à adopter le principe numérique et un convertisseur N/A de puissance jusqu'à son avant dernier étage.

cipe est dérivé de celui proposé par Méridian, mais avec d'autres centres d'intérêt : un prix compétitif, un volume restreint, une liaison baptisée DSS Link, une compensation de la réponse niveau/fréquence et un filtrage des voies grave et aiguë en numérique ainsi que d'autres possibilités intéressantes au niveau des liaisons multi-pièces par exemple.

Pour sa célèbre SL-600, G. Bank, de la firme Celestion a pensé raisonnable de s'en tenir à la correction numérique d'une enceinte qui présente d'ores et déjà une très bonne linéarité de réponse en fréquence, ce qui est justement le cas de ce modèle. De là découle la possibilité de faire

usage d'un filtre de type FIR, à réponse impulsionnelle finie qui, assorti à un circuit DSP réduit sensiblement le coût de revient, mais au prix d'une correction limitée dans le grave à 400 Hz. Le processeur numérique Celestion DLP 600, dont le prix est de 3500 F environ seulement utilise un circuit DSP d'origine Analog Devices (série ADSP-2100) qui traite le signal issu d'un algorithme inscrit sur une EPROM par les soins de Celestion. Comme d'autres systèmes la mesure de l'enceinte s'effectue tout d'abord en chambre sourde, en régime impulsionnel, à deux ou trois mètres de façon à se rapprocher de la distance enceintes - auditeur dans les conditions normales d'utilisation. L'analyse de Fourier détermine la réponse en fréquence et en phase. L'algorithme de codage se base sur la forme de l'impulsion et à l'aide d'une fenêtre de "Bartlett" calcule ces données et les coefficients nécessaires à la correction de l'amplitude et de la phase. Pour ce système comme pour celui qui fait appel à un filtre de structure IIR (impulsion à réponse infinie) il est important de retenir que tout le processus de correction de la réponse en fréquence et en phase se base uniquement sur la mesure de la réponse impulsionnelle et qu'il ne prend pas en compte la distorsion harmonique. Au dessous de 500 Hz environ, la salle d'écoute produit de nombreuses réflexions, des résonances et anti-résonances avec des valeurs de surtension, d'amplitude de 5 à 15 fois supérieures à celles que peuvent offrir un bon égaliseur à 33 bandes 1/3 d'octave. Sur ce dernier la valeur moyenne de la surtension Q est de l'ordre de 4,3. Si ce paramètre est ajustable sa valeur maximale dépasse rarement 10. Pour l'amplitude des corrections, compte tenu de la structure des circuits simulant des réseaux LRC, on ne dépasse pratiquement jamais les ± 12 dB. Pour les fréquences, le filtrage en 1/3 d'octave donne une suite de valeurs telles que 50, 63, 80, 100, 125 Hz. Sur ces trois critères, on est très loin de la réalité qui peut faire apparaître dans un local donné une résonance à 51 Hz avec une surtension de 28, une anti-résonance à 58 Hz avec une surtension de 35 suivie d'une autre réso-



Prototype d'égaliseur numérique proposé en France par Focal. Il est conçu sur la base des travaux de Malcolm Hawksford et Richard Greenfield. Un système d'EPROM pourrait être envisagé de façon à pouvoir l'adapter à différents modèles de la gamme d'enceintes Focal.

nance à 65 Hz. Il s'y ajoute le fait que la source n'est pas une enceinte mais une paire d'enceinte et que les résonances, les anti-résonances peuvent varier très sensiblement en amplitude, en fréquence comme en surtension d'un point à un autre dans le local d'écoute. Dans un article signé Stan Curtis publié dans Hi-Fi News fin 1991 concernant un système de correction numérique proposé par B&W, il est démontré que lorsque la mesure, la correction et la restitution du signal sonore sont effectués dans le même local, à partir d'un même point l'efficacité de la correction est telle que l'on obtient une réponse amplitude/fréquence droite, au 1/2 dB près entre 60 Hz et 20 kHz (cas de la B&W Matrix 802). L'ombre au tableau est que dans les conditions normales d'utilisation, cet idéal n'est jamais atteint et que, de plus, beaucoup d'autres problèmes viennent s'y greffer. Il semble intéressant d'en faire état, ne serait-ce que pour reconsidérer une correction numérique sur toute la bande audio, incluant éventuellement la salle d'écoute. Il faut en tout premier lieu se rappeler qu'au dessous de 100 Hz environ le haut-parleur fait apparaître plusieurs défauts qui auront tendance à s'aggraver avec l'amplitude du signal reproduit et lors de l'exploration des fréquences audio les plus basses. En effet, il faut prendre en compte la non linéarité de champ dans l'entrefer, la non linéarité du système de centrage (spider) exerçant sur l'équipage mobile des forces de rappel ainsi que d'autres phénomènes liés par exemple au déséquilibre de la masse en mouvement par rapport au point de repos : la plus grande partie de la

masse mobile se trouve du côté de la membrane alors que du côté opposé ne se trouve que la masse équivalente d'une demi-bobine mobile. Il en résulte qu'au delà d'une excursion de 2 à 3 mm de l'équipage mobile du haut-parleur grave, le déplacement tend à perdre de plus de plus de linéarité avec en plus, une tendance de glissement du point de repos vers l'intérieur ou vers l'extérieur. Ajoutons que si, du côté de la correction numérique, le signal capté lors de la mesure contient des parasites sur des bruits quelconques, ceux-ci peuvent être interprétés comme un signal à corriger. Si c'est le cas, on obtiendra lors de la restitution "corrigée", sous une puissance moyenne modérée, de l'ordre du watt, des pics de correction (localisées entre 60 et 62 Hz par exemple) dont l'amplitude pourra atteindre 30 ou 40 dB, ce qui correspondrait en théorie à des puissances comprises entre 1500 et 10 000 watts !

Le même genre d'impossibilité se produit si l'on ne tient pas compte des limites d'excursion (et de dissipation thermique) des bobines mobiles dont il a été question plus haut. Pour parvenir à un bon compromis, il semble donc sage de retenir les meilleures idées parmi les recherches effectuées jusqu'ici au niveau des haut-parleurs grave, des circuits d'asservissement, des systèmes destinés à linéariser les caractéristiques de transfert des H.P. graves sur de larges excursions. A ce sujet l'une des études les plus intéressantes est celle de Wolfgang Klippel (JAES, septembre 92) qui a obtenu de très bons résultats en associant un filtre dit "miroir", un montage avec processeur DSP 561001 et

un circuit de protection. Les résultats de mesure publiés montrent en effet une réduction très sensible de la distorsion et de "l'effet de redressement électromécanique" (tendance d'une disparition d'une demi-sinusoïde).

La prise de conscience de ces différents problèmes de local d'écoute, de limites imposées du côté des haut-parleurs, de risques sérieux de corriger des défauts pour en créer d'autres bien pires encore, la nécessité d'avoir recours à des mémoires adaptées à chaque cas, à chaque enceinte sont autant de raisons qui pourraient expliquer pourquoi la plupart des industriels de la hi-fi, du haut-parleur et des enceintes acoustiques préfèrent laisser murir ces différentes recherches. D'autres visent déjà les meilleurs compromis, voire des corrections capables de convenir à plusieurs modèles d'enceintes. Après la mode des égaliseurs "graphiques", des DSP en analogiques, il est fort probable que pour les industriels de la haute fidélité "Grand Public", milieu et haut de gamme la prochaine étape sera la correction numérique des enceintes acoustiques et de la salle d'écoute. Rappelons-nous à ce propos qu'en l'espace de quelques années seulement, le prix des calculatrices scientifiques est passé de 8000 F à moins de 400 F. Dans l'attente de cette perspective, on ne peut que féliciter tous ceux qui participent activement à ces évolutions soit en commercialisant des correcteurs numériques pour enceintes soit en présentant à la presse des prototypes de correcteurs qui semblent très prometteurs. Chez B&W, la correction de la salle d'écoute et des enceintes a été résolue en adoptant un processeur travaillant en temps réel baptisé "Decfilte", lequel fait usage d'un certain nombre de mémoires ROM programmées pour assurer une correction adaptée à plusieurs modèles d'enceintes. B&W propose de commercialiser sa "boîte noire" sous deux formes, l'une réservée à un usage professionnel, aux studios, l'autre à des ensembles de haut de gamme à contrôle numérique. Le prototype d'égaliseur numérique mis au point par Malcolm Hawksford et Richard Greenfield, de l'Université

de l'Essex, en Grande Bretagne utilise un filtre de structure hybride FIR/IIR suivi de l'utilisation de circuits DSP plus puissants, donc plus onéreux. Il fait appel à un algorithme LMS plus simple que celui surnommé Sharf (lequel a fait l'objet d'un article dans l'IEEE par leurs auteurs MG Larimore, J.R Treichler et J.R Johnson). Avec les paramètres choisis, les égalisations ont pu être simulées sur un processeur DSP TMS 320C25 et démontrer la perfection des corrections obtenues entre 100 Hz et 20 kHz. Ces résultats ont été jugés préférables à ceux obtenus à partir d'une égalisation en mode FIR, laquelle révèle des performances inférieures entre 200 Hz et 1 kHz. En France, Focal se propose de le commercialiser.

Les vrais amplificateurs de puissance 100 % numériques sont au stade de l'expérimentation en laboratoire. Aux USA, le Wadia 5, de puissance 200 W est une version qui fonctionne en numérique jusqu'à son avant-dernier étage (au delà, les risques d'émission de parasites sont importants) semble le premier du genre qui pourrait donner naissance à une nouvelle génération d'amplificateurs "intelligents" capable de s'adapter, de s'égaliser "à la carte" à différentes situations du côté enceintes et environnement acoustique.

Nos lecteurs sont sans aucun doute curieux de connaître nos premières impressions concernant les résultats d'écoute de ces "boîtes noires" d'égalisation numérique. Comme le montrent différents résultats de mesure, des séries de résonances ou anti-résonances qui forment un timbre, une coloration particulière sur un haut-parleur tendent à disparaître dans certains cas, à subsister dans d'autres. D'où la nécessité de ne faire usage, comme dit plus haut, de haut-parleurs et d'enceintes excellents sur les critères d'absence de coloration et de linéarité de réponse en fréquence. Pratiquement tous les haut-parleurs sont affectés de non linéarités de phase. L'insertion des égaliseurs numériques élimine pour ainsi dire totalement toute rotation de phase. Ceci se traduit à l'écoute (dans un local peu réverbérant de préférence) par de très nettes améliorations

en termes de localisation des sources fictives, de direction et de distance de celles-ci dans l'espace. En termes de correction de la réponse niveau/fréquence, la mise en service de l'égalisation numérique est très différente sur le plan subjectif de ce l'on ressent d'habitude lors de l'insertion d'un égaliseur paramétrique. A propos d'un test très difficile, celui des applaudissements, il semble opportun de faire une remarque concernant le réalisme de l'effet tridimensionnel : les habitués de la prise de son ont sans doute remarqué que le maximum de réalisme est obtenu sur casque (un bon, de préférence) à partir d'une paire microphonique de "type tête artificielle". Sur haut-parleurs, quel que soit le type de transducteur, la perte de réalisme, de notion de direction et de distance est flagrante et conduit à des impressions de timbres dénaturés. Là aussi, il semble qu'il s'agisse de

problème de phase et aussi de diaphonie entre les enceintes et les oreilles de l'auditeur, un point qui n'est pas pris en compte lors des simulations sur ordinateur. C'est pourquoi les chercheurs s'orientent également sur des systèmes capables de simuler une écoute au casque, en binaural, mais sans l'inconvénient majeur obligeant l'auditeur à écouter à un point précis dans une salle d'écoute très absorbante.

Après les essais infructueux en quadriphonie, après l'avènement du numérique et des processeurs d'effets sonores DSP, un autre pas en avant en haute fidélité sera réalisé lorsque nous aurons appris à mieux maîtriser les principes de la prise de son et de la restitution en "vrai relief". D'ici là, il faudra encore faire de sérieux progrès au niveau des haut-parleurs qui resteront, longtemps encore, les maillons les plus imparfaits des systèmes audio.



Ensemble Méridian. Il fait largement appel à la technologie numérique. L'enceinte D 6000 utilise un égaliseur numérique avec DSP 48 bits très performant et un filtre numérique. Il comprend le préamplificateur 601 à entrées numériques et le convertisseur séparé N/A 607.

**Page non
disponible**



TRANSDUCTEURS ELECTROSTATIQUES OU LE CHANT DES CONDENSATEURS (III)

L

Jacky Mas

Les deux articles précédents vous auront persuadé que d'importantes connaissances théoriques sont primordiales pour espérer tirer la quintessence des HPES. Cependant, si le développement de ces transducteurs repose sur des lois physiques parfaitement codifiées, en pratique il faut y ajouter une bonne dose de savoir-faire acquis après de longues années d'expérience. Celle-ci constitue le véritable secret qui préside à la construction de ces haut-parleurs et il n'est, bien entendu, pas question de dévoiler ici toutes les astuces techniques, pour la simple et bonne raison qu'il n'existe aucun document constructeur les révélant. Par exemple, la texture exacte de l'« enduit » recouvrant les diaphragmes n'est pas habituellement divulguée. Bien d'autres mystères planeront sur ces haut-parleurs, après cette série d'articles, mais pour vous permettre de lever encore davantage le voile entourant ces condensateurs qui chantent, nous vous proposons, dans ce troisième et dernier volet, l'analyse de deux réalisations concrètes d'une firme anglaise célèbre, l'une récente et l'autre... plus ancienne.

QUAD for ever...

Parmi tous les constructeurs d'HPES, la firme QUAD occupe une place à part dans le monde de la Haute-Fidélité puisqu'en cinquante années d'existence,

seuls deux modèles ont en effet été produits par cette société anglaise installée depuis fort longtemps à Huntington. Le premier de ces haut-parleurs, le Mark 1, a commencé sa carrière

en 1957. Le second, l'ESL 63, est venu « remplacer » le précédent au milieu des années 80. Le 63 de la référence n'est pas anodin, il correspond à l'année où l'*Acoustical Manufacturing Company*

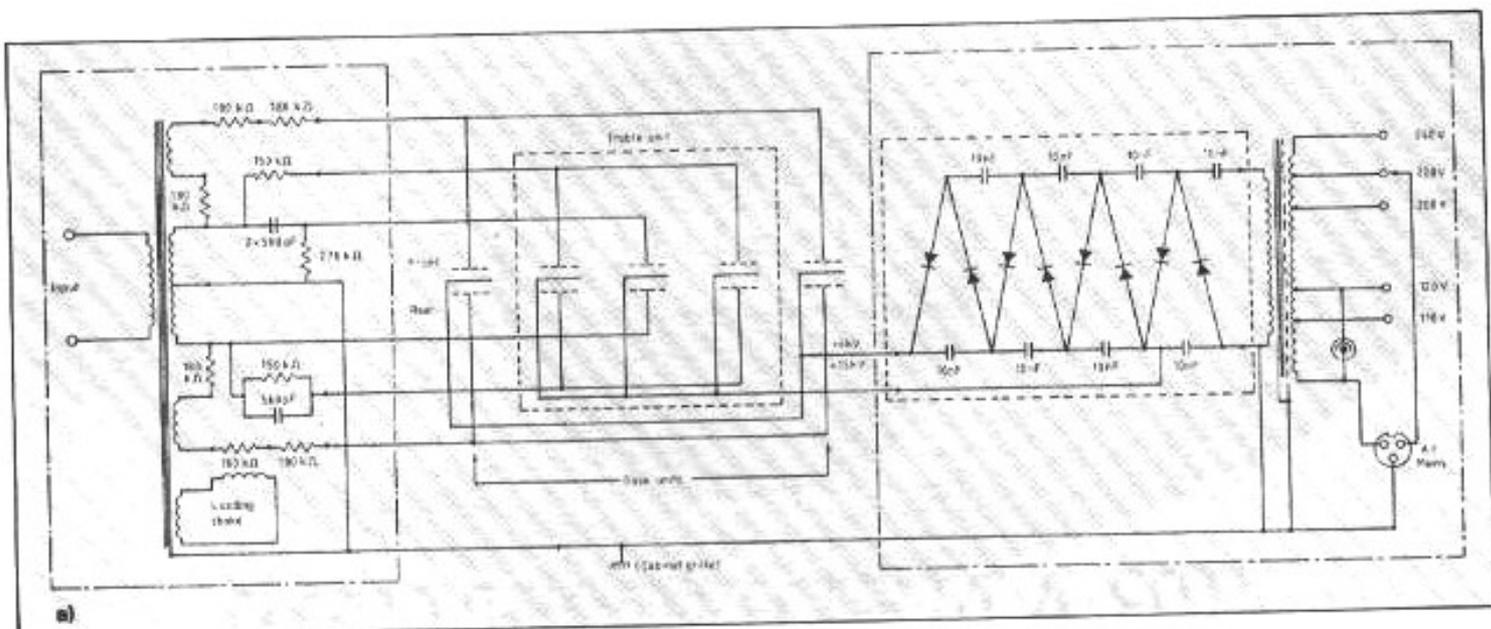


Fig. 1 : Schémas de principe de l'enceinte Quad ESL Mark 1 (d'après P.J. Baxandall).

ductrice), sont distantes de 2 mm. Un tel espacement est garant d'une bonne auto-protection même pour des signaux d'entrée atteignant des niveaux importants. S'ils se produisent malgré tout une étincelle entre les faces internes des électrodes, le gradient de champ intense développé autour de la région réduit immédiatement la tension* inter-électrodes. Les électrodes sont bien entendu ajourées, percées de multiples trous, et le risque qu'il se produise une étincelle au travers des trous est faible. Cependant, si une telle éventualité survenait, le diaphragme ne subirait pratiquement aucun dommage. En effet, le signal d'entrée atteint les unités graves au travers d'une résistance série élevée, donc la seule énergie disponible pour l'étincelle est celle stockée au niveau de la capacité inter-électrode. L'épaisseur des électrodes de la cellule médium-aigu est beaucoup plus faible, leur surface interne est conductrice et l'espace inter-électrode est réduit (0,5 mm) afin de minimiser les pertes en haute-fréquence et les irrégularités de la réponse en fréquence dues à l'impédance de la masse d'air en regard des trous.

Le QUAD Mark 1

Le schéma de principe de ce modèle apparaît sur la figure 1. Les unités de grave utilisent un diaphragme en Saran dont le module de Young est faible, ce qui permet de le soutenir en deux positions intermédiaires sur sa largeur, en maintenant malgré tout une fréquence de résonance correcte. Il est donc possible d'obtenir par cette construction un espacement quasi-constant sur toute l'aire émissive. Les électrodes fixes, relativement épaisses, réalisées en matériau isolant sur leur face interne (seule leur face externe est con-

(nom original de QUAD) a débuté ses travaux sur le nouveau moteur électrostatique. Il s'est donc écoulé près d'une vingtaine d'années entre le début du développement du transducteur et sa mise sur le marché. Depuis sa sortie, quelques améliorations ont été apportées à ce second modèle, mais les bases fondamentales de son mode de fonctionnement n'ont pas été remises en question. C'est d'ailleurs une constante chez QUAD, puisque le Mark 1 n'avait subi pour sa part que des modifications mineures en près de 30 ans de commercialisation...

Le diaphragme est cette fois en Mylar.

Tant que le haut-parleur n'était utilisé qu'avec des amplificateurs de type QUAD II dont la puissance de sortie approchait les 15 W, aucun problème ne pouvait survenir. L'apparition d'amplificateurs délivrant des puissances beaucoup plus importantes à nécessité la mise en place d'une capacité et d'une résistance pour tenter de protéger la cellule d'aigu (voir figure 1). Ce circuit est virtuellement transparent aux fréquences supérieures à 1 kHz, mais réduit la tension appliquée en entrée aux fréquences plus basses où la quantité d'énergie est habituellement plus importante dans le signal. Par ailleurs, la présence de la capacité limite intrinsèquement l'énergie disponible pour l'étincelle.

La tension de polarisation des unités graves est de 6 kV, alors qu'elle n'est que de 1,5 kV pour la cellule de médium-aigu. Les transformateurs utilisés sur les HPES sont des éléments dont l'importance est capitale. Sur la figure 1, le rapport au secondaire du transformateur est de 1:290, l'inductance à basse fréquence pour des signaux faibles est de 5000H. La tension crête au secondaire peut excéder 8 kV.

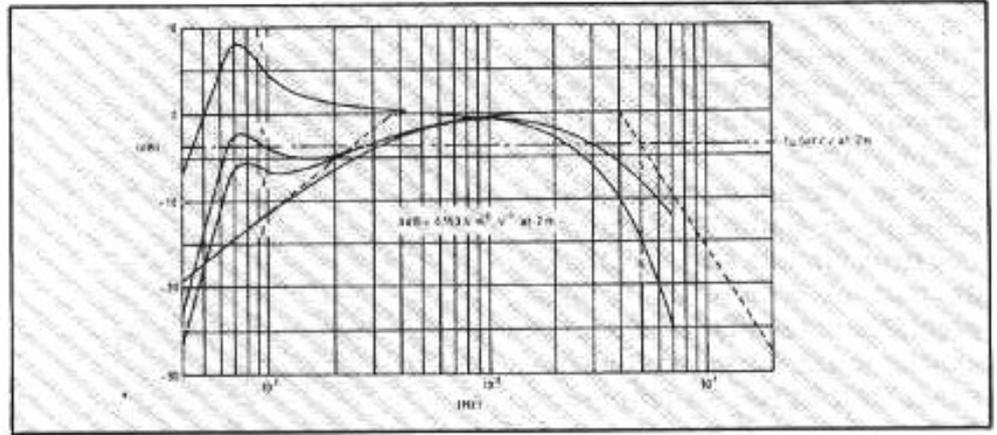


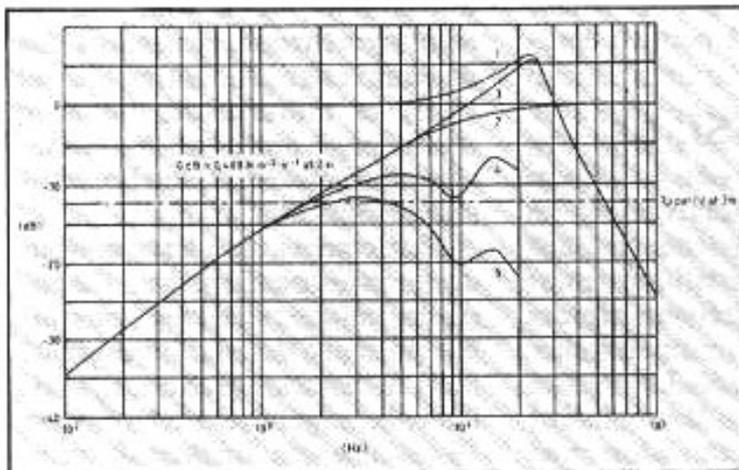
Fig. 2 : Réponse en fréquence de la cellule de grave du Quad ESL Mark 1 (d'après P.J. Baxandall).

Compte tenu du nombre considérable de tours sur le secondaire, le comportement exact de ces transformateurs est loin d'être prévisible pour l'ensemble du spectre audio. Nous verrons un peu plus loin une des astuces utilisées par QUAD sur l'ESL 63 permettant de résoudre en partie ce problème.

La cellule de grave est attaquée au travers d'une résistance totale supérieure à 1 MΩ. La fréquence de coupure est alors aux alentours de 350 Hz en basse fréquence. La fréquence de résonance du diaphragme polarisé est de 70 Hz, avec un coefficient Q maintenu à 2,5 environ grâce à un amortissement adapté du diaphragme. La réponse en fréquence de la cellule grave est

représentée par la courbe 1 de la figure 2. Compte tenu de la limitation fréquentielle pour le registre grave mentionnée ci-dessus, la courbe correspondante est la courbe 2. La réponse résultante (somme des deux courbes précédentes) correspond à la courbe 3. Si l'on tient compte d'un effet de baffle résiduel inhérent à la construction du haut-parleur, la réponse finale en basse fréquence est représentée par la courbe 4 de la figure 2.

La pression délivrée à distance, dans l'axe, par un diaphragme grave supposé plat est donnée par l'équation de Walker. Avec une polarisation de 6 kV, un espace inter-électrodes d'environ 2 mm, à une distance



a)

b)

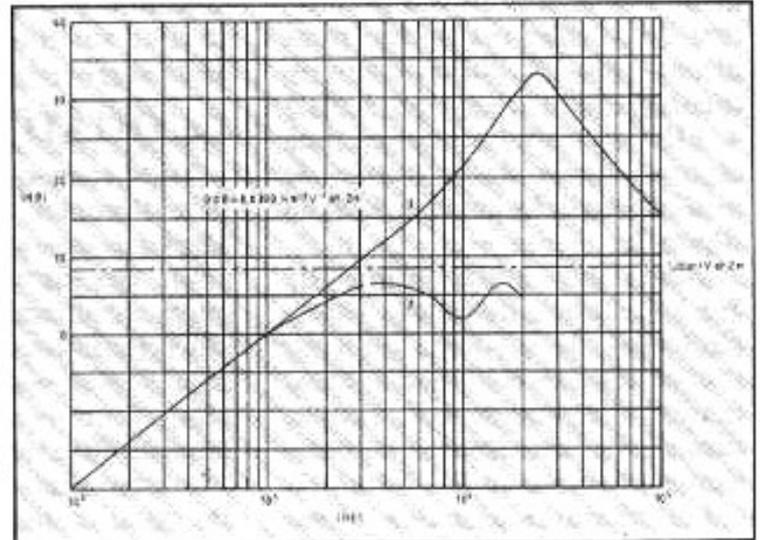


Fig. 3 : Réponse en fréquence de la cellule d'aigu du Quad ESL Mark 1 : a) fréquences moyennes ; b) hautes fréquences (d'après P.J. Baxandall).

de 2 m, une tension de 1 V au primaire produisant un courant d'électrodes de quelque $250 \mu\text{A}$ permet d'atteindre environ $0,15 \text{ N/m}^2$.

En se référant au schéma simplifié de la figure 1, il est clair que deux circuits sont en cascade de part et d'autre de la ligne pointillée notée PQ. Le circuit de gauche à une fréquence de résonance de 24 kHz. Sa réponse en fréquence est donnée par la courbe 1 de la figure 3. De même, la réponse du circuit de droite est donnée par la courbe 2 de cette figure 3. Pour une tension d'entrée constante au primaire du transformateur, la courbe 3 (somme des deux précédentes) n'est autre que celle du courant attaquant la cellule de médium-aigu du HPES. A cause de la courbure de la cellule essentiellement, la courbe 3 est modifiée, et la réponse est en réalité représentée par la courbe 4. Enfin, il est cette fois important de prendre en compte les pertes en hautes-fréquences dues à la masse non-nulle du diaphragme et à la masse effective de l'air dans les trous entre les électrodes. Pour ce dernier point, il faut noter que la disposition régulière ou en quinconce des trous influe sur la réponse finale de la cellule (figure 4). Sans entrer dans le détail des équations qui permettent de calculer ces pertes, nous dirons que la chute doit-être théoriquement d'environ 3 dB à 4 kHz, ce qui donne comme réponse finale de la cellule de médium-aigu la courbe 5 de la figure 3.

Pour une polarisation de 1,5 kV, une distance inter-électrodes de 0,5 mm, un courant de 0,6 mA environ pour une tension d'entrée de 1 V, l'équation de Walker donne une pression acoustique de $0,4 \text{ N/m}^2$.

Les réponses globales, l'une calculée et l'autre mesurée, pour l'enceinte complète apparaissent sur la figure 5. Nous ne parlerons pas des déphasages entre

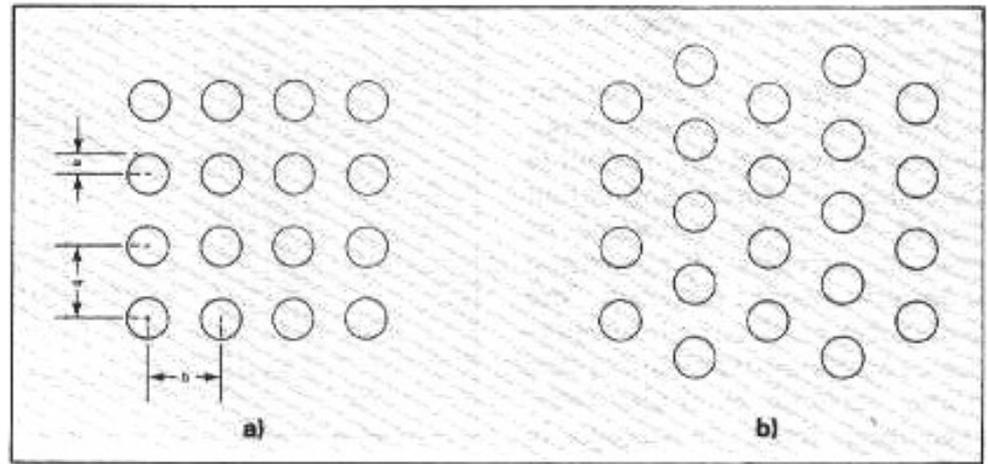


Fig. 4 : Deux dispositions possibles pour les trous des électrodes sur des HPES (d'après P.J. Baxandall).

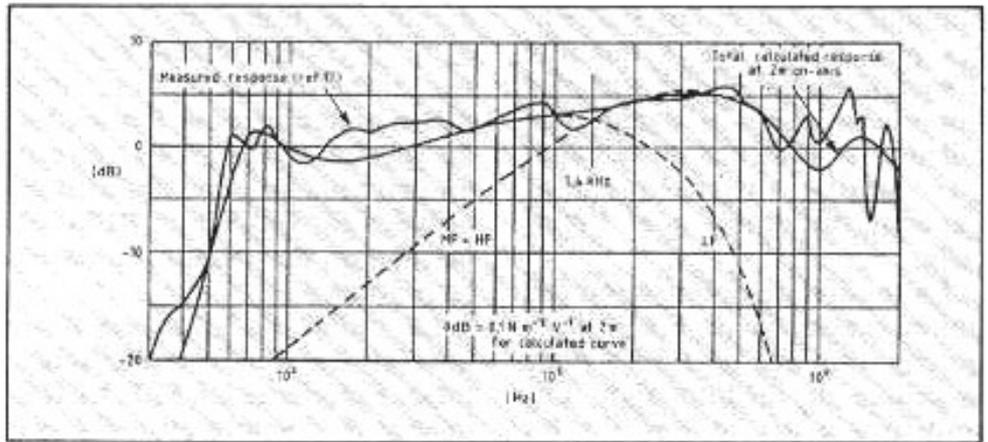


Fig. 5 : Réponses (l'une calculée et l'autre mesurée) de l'enceinte Quad ESL Mark 1 (d'après P.J. Baxandall).

cellules graves et médium-aigu, ni des variations des courbes de réponse occasionnées par la grille de protection ou les réflexions provoquées par le sol, un livre suffirait à peine à épuiser le sujet.

Le QUAD ESL 63

Tous ceux qui ont eu l'occasion d'écouter attentivement les Mark 1 se souviennent sans doute des caractéristiques marquées de directivité que présentait cette enceinte, en particulier dans le plan vertical. Le registre aigu était considérablement modifié à l'écoute selon que l'auditeur était assis ou debout. De plus, ce modèle n'autorisait pas l'utilisation d'amplificateurs très puissants, car la malheureuse cellule de médium-aigu ne survivait pas généralement à

quelques forte d'orchestre ou de voix. L'ESL 63, également surnommée FRED (pour *Full Range Electrostatic Doublet*), est un doublet acoustique totalement symétrique, acceptant des niveaux crête en entrée de 40 volts, et utilisant des lignes à retard pour améliorer les caractéristiques de directivité horizontale et verticale.

Idéalement, le haut-parleur devait être constitué d'un diaphragme unique, couvrant l'ensemble de l'aire active. Cependant, pour des raisons pratiques, 4 cellules rectangulaires de 60 cm sur 19 cm ont été finalement utilisées. Pour toutes les cellules, l'espacement inter-électrodes est de 2,5 mm, les électrodes sont très fines afin de réduire la masse inerte d'air entre les trous dans le but d'améliorer le comportement

en haute-fréquence. Ces électrodes sont conductrices sur leur partie externe et les 2 cellules centrales sont divisées en 6 anneaux concentriques par les électrodes connectées aux lignes à retard. Les schémas, l'un complet, l'autre simplifié, de l'enceinte apparaissent sur la figure 6. Le transformateur utilisé est ici plus simple que sur le Mark 1, il s'agit en réalité de deux transformateurs présentant chacun un rapport 1/122,5. Cette astuce permet de mieux prédire son comportement sur l'ensemble du spectre audio (jusqu'à 50 kHz) et impose des contraintes de constructions bien moindres que pour le transformateur du Mark 1.

Les équations intéressantes pour la mise en œuvre des lignes à retard sur L'ESL 63 sont les suivantes :

$$Z_0 = \sqrt{L/C}$$

$$f_c = \frac{1}{\pi\sqrt{L/C}}$$

$$T_s = \sqrt{LC}$$

avec :

Z_0 l'impédance caractéristique (Ω)

T_s le retard (s)

f_c la fréquence de coupure (Hz).

De plus, il est possible de dériver une équation supplémentaire à partir de la triade précédente :

$$T_{tot} = Z_0 C_{tot}$$

où T_{tot} est le retard total (en secondes) et C_{tot} la capacité totale (en farads).

Les valeurs de capacité et d'inductance du schéma simplifié de la figure 6 conduisent à une impédance caractéristique de 900 k Ω , une fréquence de coupure de 16 kHz et un retard T_s de 20 μ s et total de 100 μ s entre les points A et B. Autour et en dessous de 100 Hz, il n'y a pas de retard significatif et les anneaux capacitifs sont simplement en parallèle. Dans ce cas, l'ensemble du diaphragme est contrôlé par la tension aux bornes du secondaire du transformateur. La chute de la réponse en fré-

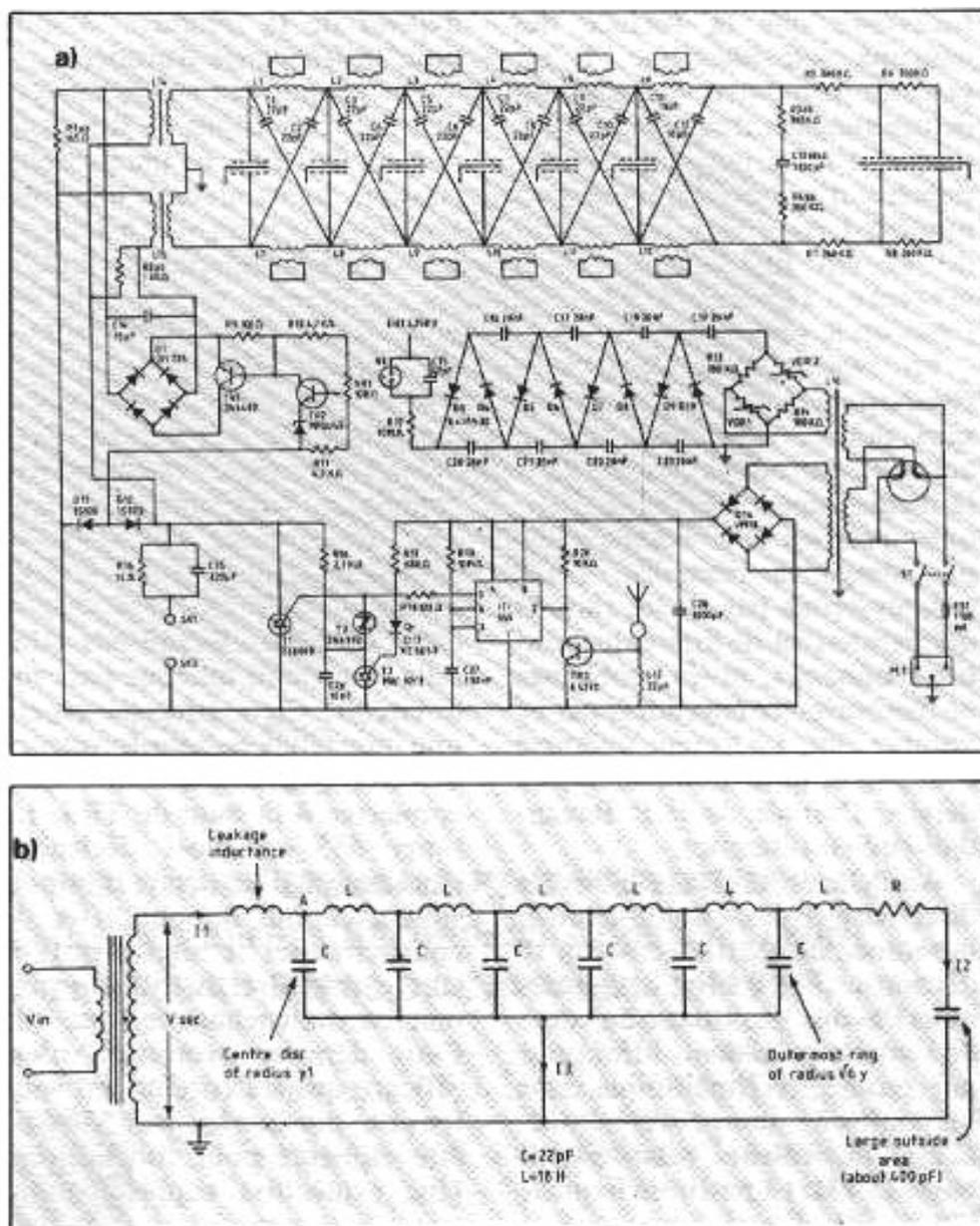


Fig. 6 : Schémas (un complet, un simplifié) de l'enceinte Quad ESL 63 (d'après P.J. Baxandall).

quence dans le registre grave suit asymptotiquement la droite 20 dB/ décade en première approximation. Le but poursuivi ici est d'obtenir, selon l'équation de Walker, une réponse axiale parfaitement plate sur la plus grande étendue possible du spectre audio. Pour arriver à ce résultat, il est connu que la ligne doit être terminée sur une résistance égale à son impédance caractéristique. Cela est le cas aux fréquences médium-aigu si R est égale à Z_0 sur le schéma simplifié de la figure 6.

Les retards appliqués à la tension alimentant les anneaux sont

équivalents à un décalage spatial de ces anneaux les uns par rapport aux autres. Il est aisé de calculer ce décalage spatial connaissant le retard et la vitesse du son. Tout se passe alors, en haute-fréquence, comme si la source émissive était ponctuelle, au centre de la sphère sous-tendue par les anneaux. Le nombre de ces anneaux est directement dépendant de la fréquence de coupure en haute fréquence et du retard total. Ce dernier est relié au rayon apparent maximal de la sphère virtuelle. Bien entendu, afin que la capacité des sous-sections soit la même, il est

nécessaire que la surface des anneaux soit identique. Il est possible de montrer que le rayon de ces anneaux doit être proportionnel à la racine carrée de leur numéro d'ordre (le premier ou numéro 1 étant le disque central de 15 cm de diamètre et le sixième correspondant à l'anneau le plus externe)

En réalité, le problème du comportement d'un diaphragme sans masse, d'étendue infinie, alimenté par des électrodes dont la forme impose des caractéristiques polaires d'émission, n'est pas simple à résoudre. Nous n'analyserons pas ici les raisons qui permettent de limiter le nombre d'anneaux, ni les problèmes de discontinuité engendrés par ce nombre fini. Le lecteur intéressé consultera, pour de plus amples détails, l'article de P.J. Baxandall cité en référence.

Au-delà de 1 kHz, l'index de directivité croît de façon lente et monotone de 4,8 dB à environ 10 dB autour de 10 kHz, ce qui est, nous l'avons mentionné au cours de l'article précédent, idéal pour une écoute stéréophonique dans un milieu semi-réverbérant. C'est la valeur relativement basse (1 kHz) à partir de laquelle l'index de directivité augmente qui impose le rayon de l'anneau le plus externe, car ce dernier

dépend de la longueur d'onde pour la fréquence considérée.

Par rapport au modèle précédent, les conditions de fonctionnement de l'ESL 63 (haute polarisation, hauts niveaux d'entrée) ont nécessité le recours à des protections. Deux circuits sont utilisés : le premier est constitué du pont D1 et des diodes D11 et D12, ainsi que des transistors TR1 et TR2, le second fait appel aux triacs T1 et T3 et au timer 555. Le premier se comporte comme un shunt lorsque la tension au primaire est égale ou supérieure à 40 V, coupant alors le signal d'entrée. Le second entre en action lorsqu'une étincelle se produit quelque part sur le circuit. Cette étincelle génère une interférence radio-fréquence détectée par une « antenne » connectée à la base de TR3. Le timer 555 est alors déclenché (succession d'un train d'impulsions), ce qui a pour effet de court-circuiter le signal entrant sur le primaire du transformateur en déclenchant le triac T1. Cette dernière protection n'est efficace que si l'enceinte est sous tension, puisque le timer 555 doit être alimenté pour fonctionner. Une protection supplémentaire est prévue pour parer à ce dernier problème utilisant alors les triacs T2 et T3 : en l'absence de

mise sous tension, T3 n'est pas conducteur, et l'application d'un signal d'entrée provoque l'apparition d'une tension aux bornes de C26 qui à travers T2 rend T1 conducteur ce qui court-circuite le signal d'entrée.

Beaucoup d'autres points pourraient être développés, mais cela nous entraînerait sans doute trop loin, d'autant que, nous l'avons dit plus haut, les constructeurs ne dévoilent pas tous leurs secrets de fabrication, et donc une description exhaustive n'est pas possible. Nous donnons quelques références bibliographiques, permettant à ceux d'entre vous qui sont passionnés par le sujet, de trouver des informations que nous n'avons pas jugé opportun de publier dans le cadre de cette série d'articles.

Bibliographie

Electroacoustics, F.V. Hunt, John Wiley & Sons, Inc., 1954, Cambridge, Massachusetts.

Les Haut-Parleurs Electrostatiques : L'éternel retour, R. Lafaurie, Le Haut-Parleur, N° 1684, et N° 1685, 198 - 202.

Electrostatic Loudspeakers, P.J. Baxandall, in Loudspeaker and Headphone Handbook, John Borwick ed., Butterworths & Co., 1988, Londres.

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

EXTREMES-BASSES GRACE A CALSOD ET LEAP

Charles-Henry Delaleu



Grâce aux progiciels CALSOD et LEAP, nous vous présentons un caisson d'extrême-grave capable de s'adapter à la majorité des enceintes, ce qui vous permettra d'atteindre les fréquences les plus basses utilisables en audio.

Dans notre dernier numéro, nous vous avons annoncé une confrontation entre les progiciels CALSOD et LEAP. Notre première idée étant de réaliser une enceinte de type 3 voies en forme de colonne pouvant s'intégrer dans la plupart des salles de séjour. Toutefois, pour être menée à bien, une telle étude mérite plusieurs mois de réflexion afin de bien choisir les haut-parleurs et d'affiner la mise au point sans être tributaire du « bouclage » de notre chère revue. Cette étude avance et vous

sera présentée dès que possible. Le caisson de basses décrit aujourd'hui a pour but de répondre à l'incapacité de la majorité des enceintes de descendre en dessous de 60 Hz. Notre cahier des charges est simple : il nous faut combler la bande 20 Hz-120 Hz. La fréquence de 20 Hz est fixe. La fréquence de coupure haute peut être réglable de 30 à 120 Hz. Ainsi ce caisson de basses pourra aussi bien servir avec de petits satellites qu'avec de grosses enceintes. Il pourra être utilisé soit en mono-caisson, soit

par paire et sa taille devra être discrète afin de s'intégrer dans la majorité des appartements. Nous avons donc décidé de ne pas dépasser 50 litres de charge utile. Conclusion : pour obtenir 20 Hz dans 50 litres avec une grande possibilité en pression acoustique, seul un système par filtrage actif est possible.

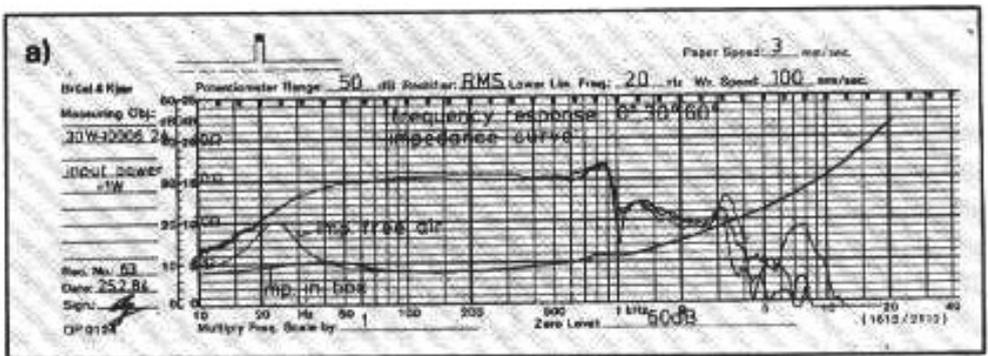
Dès lors, il nous était facile de dessiner un schéma proposant un réglage de la pression sonore et de la fréquence de coupure haute.

Forcer un haut-parleur à des-

endre très bas dans un petit volume nécessite quelques précautions. D'une part il convient de limiter de manière énergique la bande passante utilisée afin d'éviter tout talonnement du haut-parleur. D'autre part, les paramètres du haut-parleur choisi devront permettre de fortes elongations et une bonne tenue thermique de la bobine mobile. Notre électronique se compose de quatre étages. L'étage d'entrée est composée d'un sommateur qui permet l'utilisation du caisson en caisson central. Celui-ci est suivi d'un filtre passe-haut possédant un fort coefficient de surtension afin d'augmenter très sensiblement la pression acoustique entre 15 Hz et 50 Hz. Un filtre passe-bas prend ensuite le relais. Il possède un réglage en fréquence glissante pour s'adapter à la majorité des cas. Enfin, nous avons ajouté un dernier étage dit étage de sortie. Cet étage a pour but de régler le niveau sonore de l'ensemble. Le filtre passe-haut possède une fréquence de coupure de 20 Hz et un coefficient de surtension de 1,7. Pour obtenir ces caractéristiques, nous avons opté pour trois cellules de 12 dB/octave montées en série, ce qui nous procure une pente de 36 dB/octave avec une réponse en phase la meilleure possible. Le filtre passe-bas est composé de deux cellules de 12 dB/octave nous donnant un total de 24 dB/octave. Sur la seconde cellule de ce filtre nous avons ajouté un double potentiomètre de 22 k Ω linéaires qui permet de régler la fréquence de coupure entre 30 et 120 Hz, et ceci de manière glissante.

Le haut-parleur

Le choix du haut-parleur a été difficile : un transducteur de petit diamètre n'aurait jamais pu descendre à 20 Hz avec un rendement convenable, un haut-parleur de grand diamètre nous aurait obligé à utiliser un grand



b)

Compliance:		Overall dimensions:		300 x 104,5 mm
suspension	C_{ms}	$1,21 \cdot 10^{-3}$ m/N	Power handling:	
acoustic	C_{as}	$1,94 \cdot 10^{-6}$ m ⁵ /N	*nominal	DIN 450 W
equivalent volume	V_{as}	269 l	*music	DIN 600 W
Cone:		transient		10 ms 1000 W
eff. cone area	S_D	400 cm ²	Q-factor:	
moving mass	M_{ms}	35,2 g	mechanical	Q_{ms} 2,70
lin. volume displacement	V_d	320 cm ³	electrical	Q_{es} 0,803
mech. resistance	R_{ms}	1,98 kg/s	total	Q_{ts} 0,619
lin. excursion P-P	X_{max}	8 mm	Resonance frequency free air:	f_0 24 Hz
max. excursion P-P		28 mm	Rise time	89 μ s
*Frequency response:		22-900 Hz	Sensitivity:	1W/1m 91 dB
Harmonic distortion:		< 0,8 %	Voice coil:	
Intermodulation distortion:		< 0,6 %	diameter	d 100 mm
Magnetsystem:			length	h 16 mm
total gap flux		1300 μ Wb	layers	n 2
flux density		0,51 Tesla	inductance (1 kHz)	L_e 0,73 mH
gap energy		445 mWs	nom. impedance	Z_{vc} 8 Ω
force factor	$B \times L$	6,28 Tm	min. impedance	Z_{min} 6,4 Ω
air gap volume	V_g	4,27 cm ³	DC resistance	R_e 5,85 Ω
air gap height		8 mm	Data given are as after 30 hours of running	
air gap width		1,68 mm	*Depends on cabinet construction	
Net weight:		2,1 kg		

*These/Small parameters are measured not statically but dynamically

Fig. 1 : Caractéristiques générales du 30W100 de Dynaudio. a) Courbe amplitude-fréquence sur baffle plan ; b) Paramètres électro-mécano-acoustiques du haut-parleur.

volume. Il fallait donc trouver un haut-parleur de 25 ou de 30 cm de diamètre répondant à notre cahier des charges. Après quelques recherches notre choix s'est porté sur le 30W100 de Dynaudio qui possède des caractéristiques allant dans le sens de nos exigences. Ce transducteur possède une énorme bobine mobile de 100 mm de diamètre réalisé en fil d'aluminium qui peut tenir d'énormes puissances (450 W). Grâce à cette dernière le problème de la tenue thermique est résolu. L'architecture de ce haut-parleur autorise de très grandes elongations,

L'excursion maximale crête à crête est de 28 mm. Le saladier

est en magnésium, il est très dégagé et offre une grande liberté de mouvement à l'équipage mobile. La membrane est en polymère. Elle est chargée en silice et en magnésium. Le moteur magnétique est réalisé à partir d'un moteur central, ce qui autorise un grand diamètre de bobine mobile. Ceci se traduit par un taux de distorsion extrêmement faible aux basses fréquences.

Le rendement est de 90 dB, la fréquence de résonance est à 24 Hz. Le VAS est de 69 litres et le coefficient de surtension totale est de 0,619. C'est cette dernière caractéristique qui nous permettra d'utiliser un faible volume.

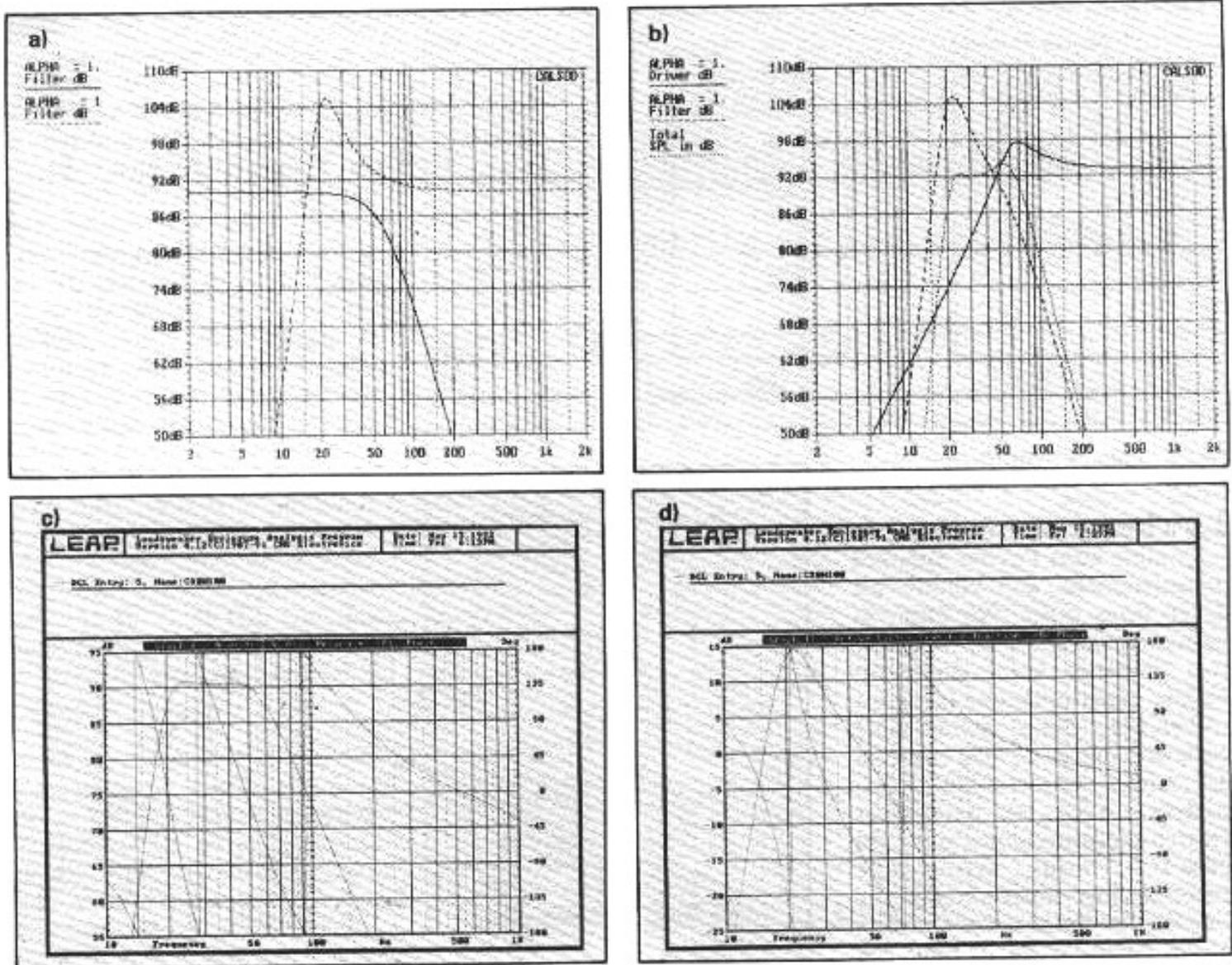


Fig. 4 : Simulation sur LEAP et CALSOD. a) Représentation sur CALSOD des filtres passe-bas et passe-haut qui composent l'essentiel de notre filtre actif. b) Représentation sur CALSOD de la courbe du 30W100 dans l'enceinte close sans filtre actif, de la courbe de réponse du filtre actif seul (courbe en tiretés), de la courbe du 30W100 associé au filtre actif. Coupure simulée à 70 Hz (courbe en pointillés). c) Représentation sur LEAP de la courbe de réponse du 30W100 dans sa charge close associé au filtre actif. Coupure à 60 Hz. d) Simulation sur LEAP de la courbe de réponse du filtre actif. Noter la similitude avec la courbe b).

convient de trouver la fonction de transfert équivalente à la courbe de réponse recherchée. Nous obtenons alors les paramètres de la courbe, mais le programme ne nous procure pas le schéma du filtre et les valeurs des composants. Dans le cas de CALSOD nous avons deux possibilités : soit utiliser des fonctions correspondant aux courbes recherchées, soit directement entrer le schéma avec les valeurs des différents composants. Cette partie a été la plus délicate de notre étude. Une fois nos résultats obtenus, par simple sécurité,

nous en avons vérifié, grâce au progiciel d'analyse de circuits électroniques Micro Cap 3, le bien-fondé.

Les résultats

Si l'utilisation de CALSOD s'avère plus simple dans cette étude, LEAP nous permet d'étudier le comportement du 30W100 à différentes pressions acoustiques. Grâce à cela nous avons pu simuler le haut-parleur à son maximum d'élongation et vérifier que ce dernier fonctionnait parfaitement jusqu'à 80 W

délivrant à cette puissance une pression acoustique de 103 dB à 20 Hz, ce qui est colossal.

Conclusion

Dans le cadre de cette étude les progiciels CALSOD et LEAP ont parfaitement assumé leur tâche. Nous avons apprécié de pouvoir obtenir, à l'aide de ces deux programmes, exactement les mêmes résultats que ceux obtenus en simulation. Il nous a semblé que, dans le cadre d'une telle étude, ces deux progiciels étaient plus complémentaires que concurrents.

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

PANORAMA DES AMPLIS A TUBES ET CABLES HAUTE DEFINITION

L

a technologie des amplificateurs à tubes évolue.

Vous pourrez vous en rendre compte dans le panorama ci-après qui regroupe quelques-uns des plus prestigieux représentants .

Suite à l'analyse des circuits, il est curieux de constater ce mélange "de vieilles recettes" qui ont fait les riches heures des amplis à tubes avec des configurations originales de schémas et l'utilisation de composants de pointe.

Il faut aussi reconnaître que les amplificateurs entièrement à tubes laissent progressivement le pas à ceux de construction hybride avec le plus souvent les étages d'entrée et parfois driver à transistors et ceux de puissance à tubes combinant ainsi le meilleur des deux techniques pour une écoute la plus transparente, la plus musicale possible.

Il ne faut jamais oublier que la qualité d'un amplificateur à tubes est étroitement dépendante de celle des transformateurs de sortie.

La bonne adaptation de ces amplificateurs en impédance, avec les enceintes acoustiques, est aussi importante . Par delà tous les résultats de mesures, il faut écouter ces amplificateurs avec attention, le tube apporte encore dans l'absolu une esthétique sonore incomparable grâce à une richesse de timbres extraordinaire,

une capacité dynamique à puissance égale toujours supérieure à leurs homologues à transistors et surtout un étagement des plans sonores qui procure cette notion de relief incomparable. Vous trouverez à la suite des amplificateurs à tubes, un panorama de câbles haute définition ayant retenu toute notre attention, après écoute, par leur qualité de définition, de transparence et d'ouverture.

Ne jamais oublier que le câble est un maillon à part entière dans un système haute fidélité et qu'il doit être choisi et écouté avec autant de soin

qu'un autre élément constitutif de la chaîne.

AIR TIGHT

Depuis quelques années, la société japonaise Air-Tight a effectué une percée très remarquable dans le "petit monde" des constructeurs d'amplificateurs à tubes. Ces unités d'amplification à tubes sont réalisées absolument sans compromis, faisant fi des modes passagères, élaborées avec un soin maniaque pour obtenir la meilleure écoute possible. Or les résultats audibles sont vraiment au-dessus de tout ce que l'on a couramment l'habitude d'entendre. Ainsi le superbe ATM-1, avec son push-pull de 6CA7 et ses transformateurs de sortie par Tamura de très haute définition, son absence totale de circuits imprimés au profit d'un câblage en l'air, assurent une transcription d'une pureté, d'une souplesse, d'une fluidité sans commune mesure avec ce que l'on peut écouter habituellement. Son esthétique sonore musicale est bouleversante grâce à un pouvoir expressif littéralement exacerbé. Sur tous les types de musique peu d'amplificateurs sont capables de transcrire avec autant de justesse des timbres très complexes dans leur structure et parfois si proches surtout quand ils sont joués simultanément. L'aération dégage totalement la scène sonore, il s'agit d'une véritable invitation au concert chez soi.

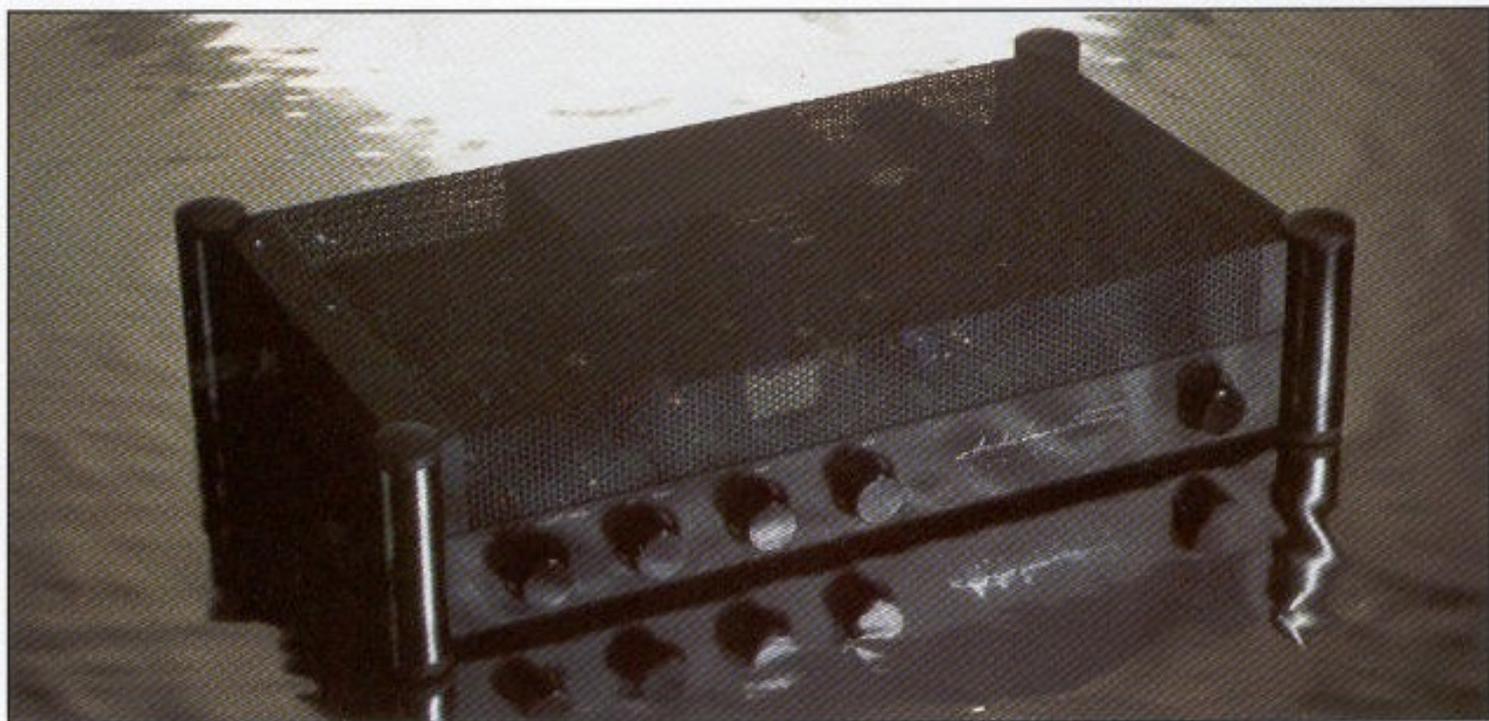
Prix indicatif : 24 200 F



AUDIO INNOVATIONS

L'ampli et le préampli Audio Innovations SE200 apportent à l'écoute des satisfactions d'un rare raffinement. La notion d'espace sonore est saisissante de naturel. Les enceintes paraissent libérées de leurs caractéristiques de directivité habituelles. Les mélodies s'expriment avec délicatesse, le rythme est soutenu, tout paraît facile sans effort d'intellectualisation de l'écoute. Pour un investissement modéré on peut atteindre le nirvana sonore, cela avec des enceintes ayant un bon rendement. L'amplificateur à tubes Série 200 ne fournit que 10 W par canal, mais quels watts ! Avec sa capacité dynamique extraordinaire, on a l'impression d'écouter un ampli dix fois plus puissant. Le circuit de base fait appel à une triode en liaison RC avec un étage à base d'une double triode montée en déphaseur suivi du circuit de puissance basé sur un push-pull travaillant en classe A avec polarisation automatique. Les transformateurs de sortie sont d'excellente qualité, avec tôles au silicium à grains orientés. L'empilage des tôles est en configuration dite EI. Le préamplificateur Série 200 utilise trois doubles triodes ECC83 qui assurent le gain nécessaire. De ce fait, il est prévu une entrée phono aimant mobile (sensibilité 2,6 mV) vraiment utilisable avec un rapport signal/bruit de 84 dB en pondéré A. Deux très belles réalisations sans aucune concession à la musicalité.

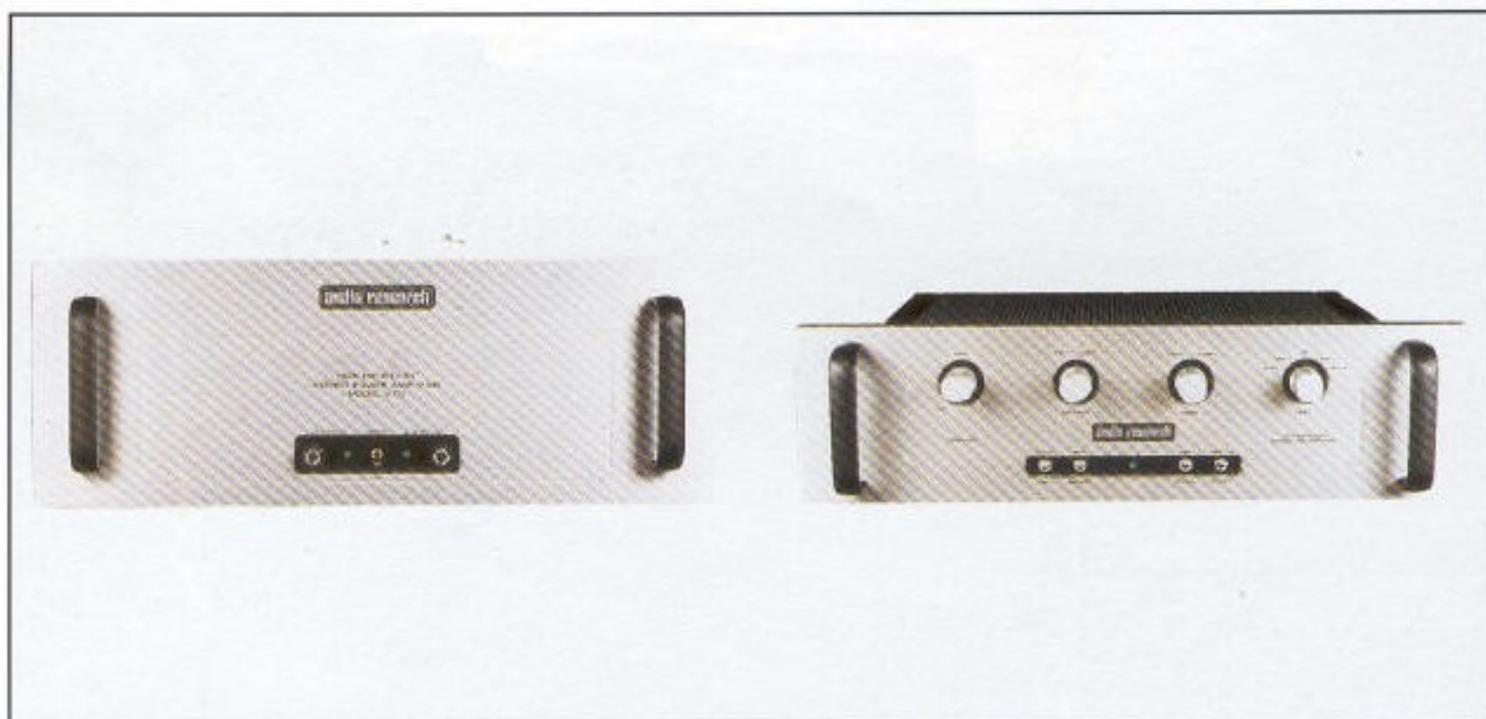
Prix indicatifs : ampli SE 200 : 6 320 F ; préampli SE 200 : 4 170 F ; l'ensemble : 9 990 F



AUDIO RESEARCH

L'amplificateur stéréophonique V70 fait partie de la dernière génération des réalisations hybrides de ce constructeur américain de matériel haute-fidélité sans compromis. Il se différencie des précédents modèles par une configuration entièrement symétrique de l'entrée jusqu'à la sortie et par l'adoption de tubes KT90 à la place des traditionnels 6550 ou KT88. A l'entrée on trouve exclusivement des prises symétriques de type professionnel XLR (impédance 400 kilohms, sensibilité nominale 1,1 V). Dans ce circuit d'entrée, on ne trouve que deux transistors à effet de champ. En sortie le montage est basé sur un push-pull parallèle avec par canal quatre tubes KT90 montés en pseudo-triode avec servo-équilibre des courants annulant toute composante continue résiduelle au niveau des enroulements primaires des transformateurs de sortie. L'étage driver est à tubes (6FQ7/6CG7). Tout l'ensemble du circuit est soumis à une contre-réaction symétrique. Le taux global de C.R. est de 20 dB seulement. Les transformateurs de sortie sont d'une qualité exceptionnelle pour une large bande passante et une absence totale de phénomènes de dépassement ou d'instabilité. L'écoute de ce prodigieux amplificateur révèle instantanément toute l'intensité d'une interprétation, toute sa sensibilité, toutes ses nuances. Le V70 a le sens du rythme, de la mélodie et la beauté de ses timbres peut être considérée comme une référence en la matière.

Prix indicatif : 35 000 F



CONRAD JOHNSON

Parmi les amplificateurs à tubes de très haut de gamme les plus imposants, les plus puissants actuellement disponibles, les blocs mono Premier Eight doivent figurer au sommet. Ils pèsent 40 kg chacun et peuvent fournir sans effort plus de 205 W ! Chaque bloc mono peut en fait frôler les 300 W instantanément pour des taux de distorsion inférieurs à 1%, cela sur les impédances de 2/4/8/16 ohms. Le montage est entièrement à tubes et se compose de trois étages d'amplification. Le circuit d'entrée fait appel à la mise en parallèle des deux sections triodes d'un tube 5751. Il attaque en couplage direct un inverseur de phase de type Schmitt composé de quatre doubles triodes 6CG7:6HQ7. La mise en parallèle de quatre triodes par section de l'étage déphaseur permet à valeur de tension égale de sortie de diminuer sensiblement celle des résistances de charge. Ce déphaseur de type particulier, très stable, attaque huit tétrodes de puissance 6550 montées en quadruple push-pull, classe AB, avec grilles-écrans reliées aux prises médianes des enroulements primaires du transformateur de sortie en mode dit "ultra-linéaire". L'écoute de ces blocs mono vous fait découvrir un autre monde sonore, réaliste en capacité dynamique, en dimensions de la scène. Cela pousse si fort sur tout l'ensemble du spectre que les autres amplis paraissent bien fades. Les premiers Eight peuvent attaquer n'importe quel type de charge avec une telle vigueur, une telle nervosité, que tout système de haut-parleurs apparaît transfiguré. Ce sont des électroniques de l'extrême, pour perfectionnistes, mais dont l'écoute laisse un souvenir impérissable.

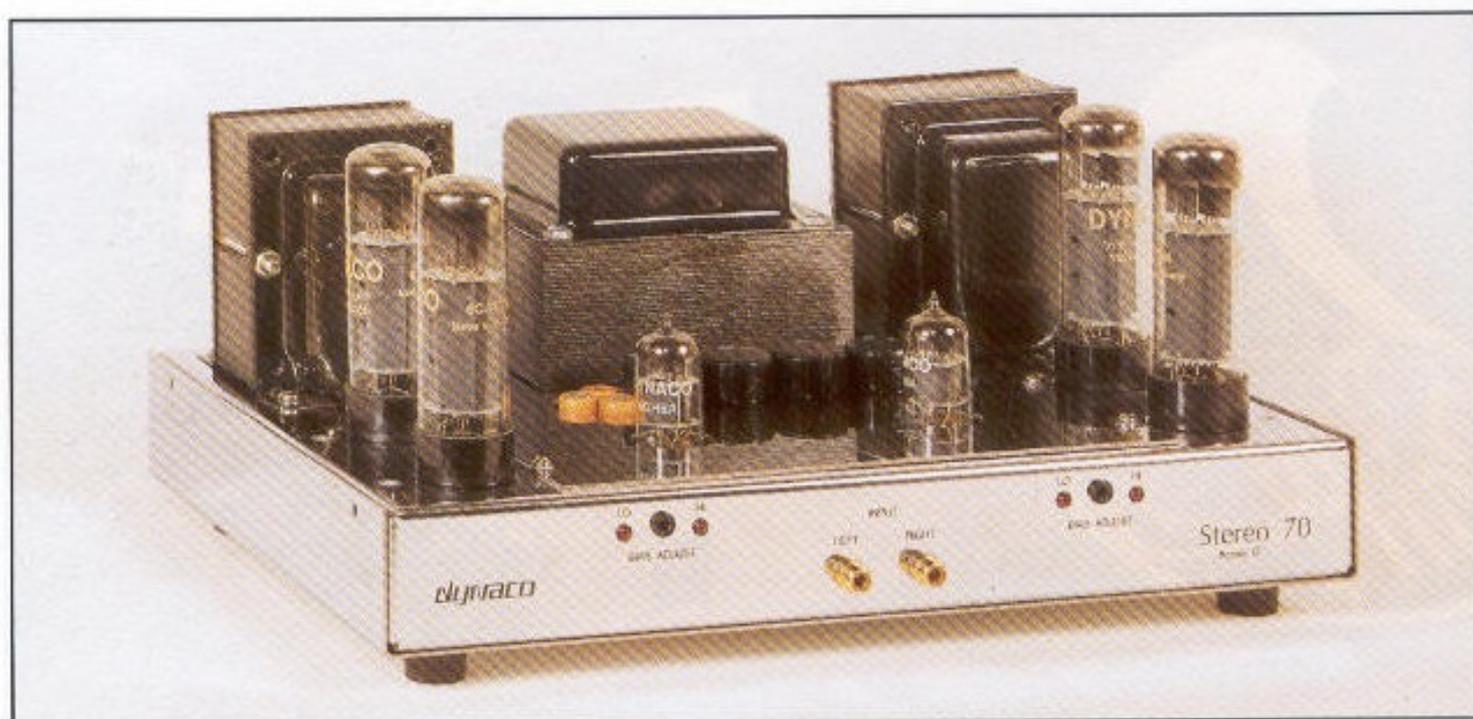
Prix indicatif : 150 000 F la paire



DYNACO

Le légendaire Stéréo 70 est de retour. Il a été considérablement amélioré par rapport à la version de base sortie il y a plus de vingt ans. L'écoute de cet ampli stéréo, avec son push-pull de EL34 en sortie est une véritable révélation. Les timbres sont si bien respectés que l'on redécouvre les interprétations dans toute leur densité, leur richesse, grâce à une profusion de détails harmoniques qui assurent une différenciation très nette entre les timbres. Le piano "sonne vrai", il n'est pas tronqué dans le prolongement des notes, la mélodie est fluide, coule naturellement. Le pouvoir de séduction sonore du Stéréo 70 est tel qu'il enthousiasme instantanément même les plus réfractaires aux amplis à tubes. Son incroyable capacité dynamique vous ébranle, on croirait avoir affaire à un ampli dix fois plus puissant. Mais par dessus tout cet ampli reste très homogène dans ses caractéristiques, jamais on ne se lasse de l'écouter. Son circuit est basé sur un étage d'entrée à partir d'une pentode 6GH8 dont la section pentode, par l'intermédiaire de la plaque, est reliée en direct à la section triode montée en déphaseur cathodyne à charges réparties. Pour l'étage de sortie, les grilles-écrans des EL34 sont montées en mode ultra-linéaire selon une tradition Dynaco. Les enroulements secondaires du transformateur de sortie disposent de prises pour charge 4/8/16 ohms. L'alimentation est très généreuse avec redressement par diodes au silicium. Par rapport à la première version, les valves de redressement GZ34 ont été remplacées par des diodes dont la durée de vie est nettement supérieure aux tubes avec l'avantage d'une résistance interne plus faible.

Prix indicatif : 12 000 F



JADIS

La société française Jadis, fondée voici dix ans, par deux passionnés de haute-fidélité, Jean-Paul Caffi et André Calmettes, s'est spécialisée dans la réalisation d'électroniques à tubes ayant remporté un immense succès à travers le monde entier. Le préamplificateur JLP est imposant par sa taille mais aussi par l'impression de précision qu'il dégage. Ses circuits sont à tubes (6x6X5). Il peut traiter six entrées haut niveau avec une parfaite adaptation d'impédance. Les circuits de chauffage filament s'effectuent en continu. De même, l'alimentation est stabilisée pour les circuits haute tension. Tout a été pensé pour obtenir le meilleur rapport signal/bruit possible. Les composants actifs et passifs sont de premier choix. Ils ont été sélectionnés en fonction d'écoutes comparatives. L'amplificateur DA7, unité stéréophonique de puissance de 2x100W est basé sur un circuit comprenant trois étages avec en sortie un triple push-pull de pentodes à faisceau dirigé 6550 d'origine américaine. Le couplage des tubes de puissance avec transformateur de sortie est une exclusivité Jadis. Il associe la répartition des charges entre les plaques, les grilles-écrans et les cathodes à la manière d'un montage ultra-linéaire. En sortie on a la possibilité d'adaptation d'impédance pour 4, 8, 16, 32 ohms. Un double bornier facilitera le bi-câblage. L'écoute est somptueuse, ultra-vivante, avec des plans sonores qui se répartissent précisément dans l'espace. La sensation d'ampleur est inoubliable.

Prix indicatifs : JPL : 29 500 F / DA7 : 33 500 F

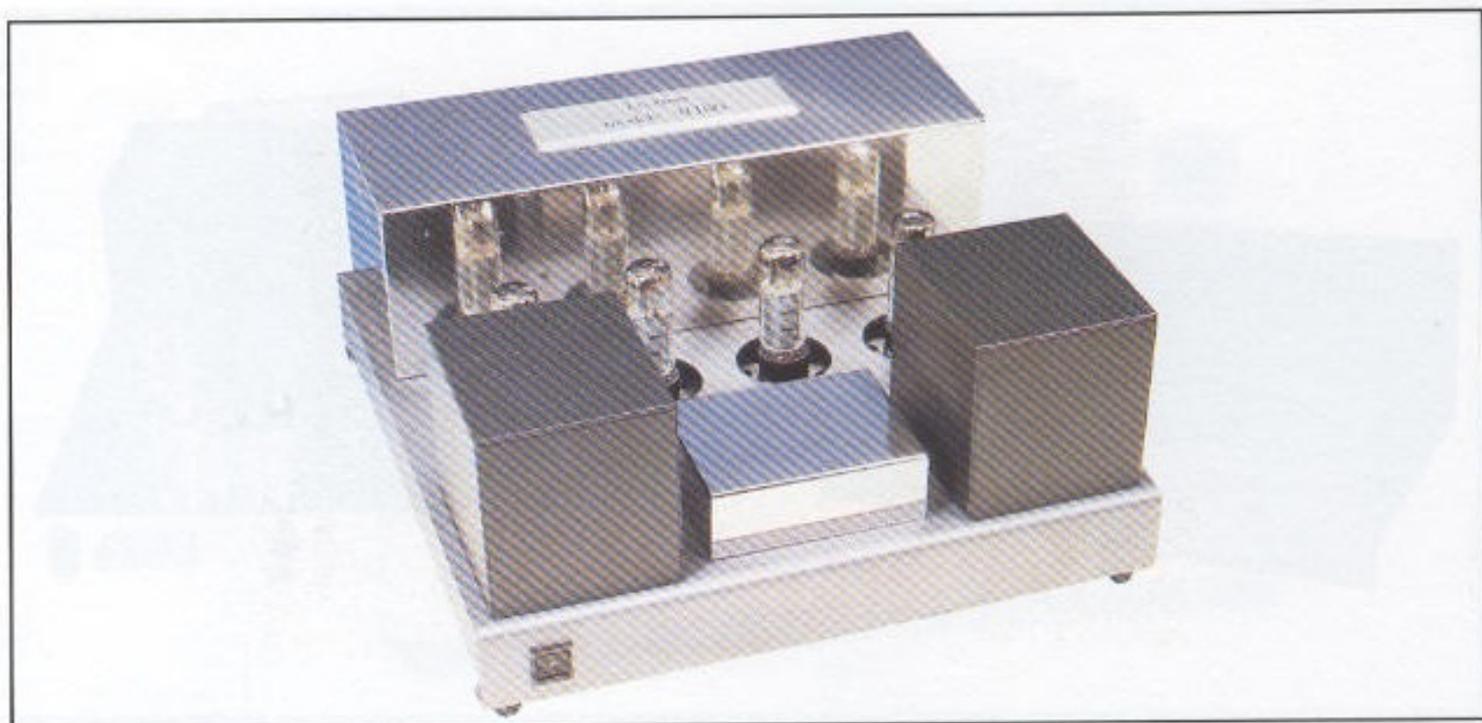


LECTRON

L'amplificateur Lectron JH60 fait partie des électroniques à tubes les plus raffinées, les plus distinguées, les plus élégantes que l'on puisse acquérir actuellement. Son écoute est un ravissement de tous les instants. La notion de rythme, et de suivi mélodique, sont parfaitement mises en valeur. Avec le JH60 vous êtes impliqués dans la musique, l'interprétation ne vous laisse jamais indifférent. Avec cet ampli la musique reprend tous ses droits, toute sa sensibilité, tout son sens des harmonies.

Pour arriver à un tel résultat, il faut des circuits de très grande stabilité, de haute définition, où le bruit de fond est reculé au maximum, avec une insensibilité totale aux types de charges. Pour ce faire, la configuration est de type hybride transistors/tubes mais restant très simple sur le cheminement de la modulation. Ainsi l'étage d'entrée transistorisé est de type cascode combinant des Effets de Champs et des transistors bipolaires. Cet étage d'entrée-déphaseur-driver travaille avec une tension d'alimentation symétrique stabilisée élevée pour fournir des signaux de sortie parfaitement déphasés de grande amplitude, avec une forme d'écrêtage douce et symétrique. L'étage de puissance est relié par couplage RC au précédent. Il fait appel à deux pentodes EL34 par canal. Le transformateur de sortie d'origine Partridge est pour beaucoup dans la qualité sonore obtenue, grâce à une très large bande passante et une absence totale de phénomènes de résonance. Une particularité importante de ces amplis réside dans l'utilisation de condensateurs de filtrage non polarisés de type polypropylène en lieu et place des classiques électrochimiques.

Prix indicatif : 29 990 F



SUN AUDIO

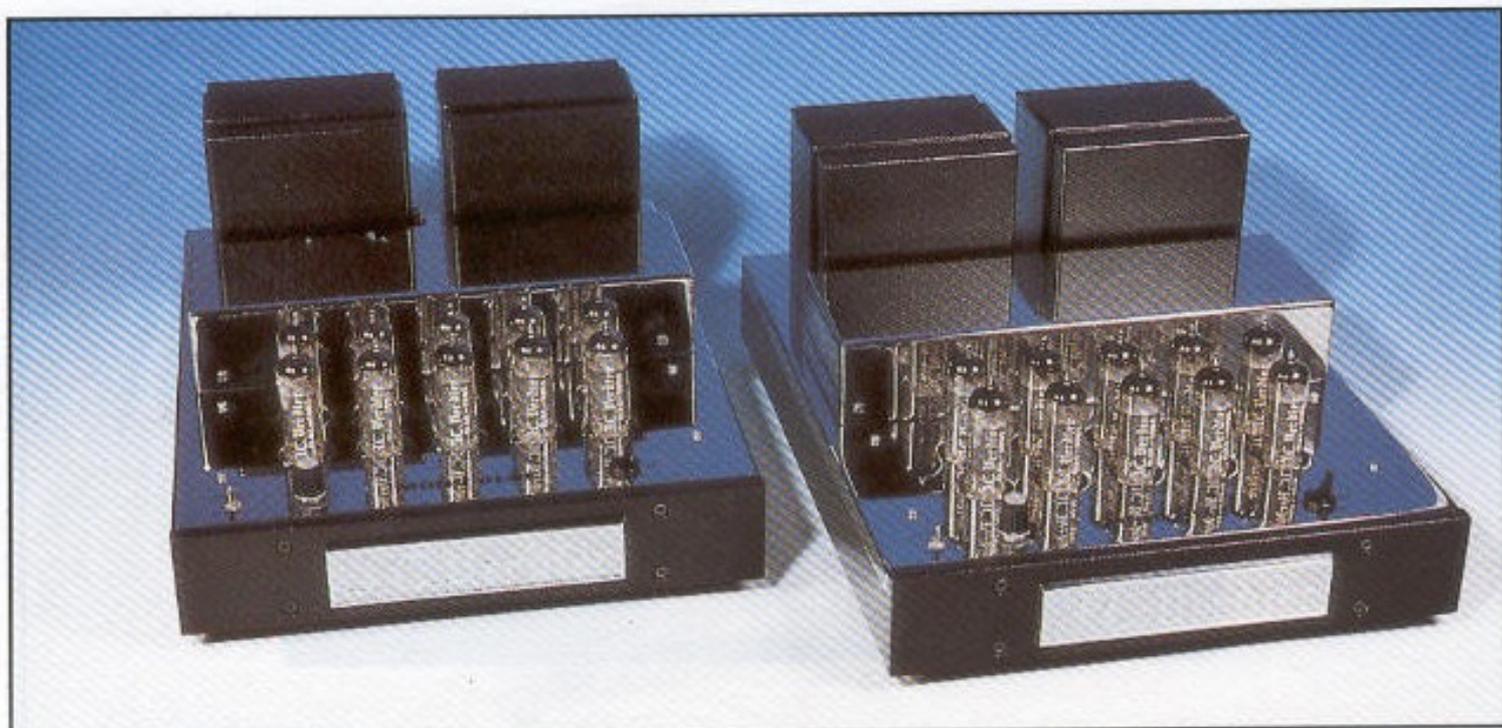
Les industriels de la haute fidélité japonaise ont pour ainsi dire totalement abandonné la commercialisation des électroniques à tubes. Cependant, les demandes persistantes de la part de milliers d'audiophiles sont telles que différentes firmes comme SUN Audio continuent de se consacrer avec succès à la commercialisation en petite série d'amplificateurs et préamplificateurs à tubes. Il est heureux de constater que des versions du genre SV-300 B, réservées normalement au marché intérieur japonais puissent être enfin disponibles en France et permettre aux passionnés du tube d'apprécier les qualités légendaires de la triode 300 B dans une version en kit. Le SV-300 B vise l'objectif d'un très bon rapport performances/prix. Il fait du même coup abstraction de tous ces décors et ornements tels que châssis chromé sur face avant en métal massif, gadgets qui grèvent le prix de l'appareil sans autres avantages en termes de qualité sonore. Le SV-300B est un montage monotriode stéréo. Il est équipé de transformateurs de sortie SO-525, versions spéciale SUN Audio réalisées par Tamura Transformers, une firme japonaise réputée. Chaque canal comprend trois étages soit 1/2 6SN7GT (entrée), 1/2 6SN7GT (étage driver) et 300 B (origine américaine Cetron). Le redressement est assuré par la valve bipolaire 5U4G, suivi d'un filtrage en pi avec self de filtrage. Le montage conserve une grande simplicité, ce qui évite tout risque d'échec, un facteur non négligeable pour un produit proposé en kit. Le circuit offre un gain élevé donc avantageux, et se complète d'entrées à niveau réglable. Il sera proposé par la société LDA, importateur en France aux alentours de 16 000 F (tubes compris).



VERDIER

L'amplificateur Monobloc de Verdier est une remarquable unité de puissance monophonique capable de fournir 70 W en classe AB et 35 W en pure classe A à partir d'un quintuple push-pull de EL84. Les vingt tubes de sortie utilisés sont appariés par le constructeur. Cet amplificateur dispose d'un réglage spécifique qui permet d'agir sur le spectre de distorsion par harmoniques. Ainsi selon l'esthétique sonore que l'on désire et en fonction des enceintes acoustiques utilisées on peut passer d'un spectre à prédominance d'harmoniques de rangs pairs comme c'est le cas avec des amplis monotriodes, à celui d'un spectre avec prépondérance d'harmoniques de rangs impairs comme on peut le rencontrer sur des amplis à tubes en classe AB selon un schéma ultra-linéaire. La configuration des circuits est basée à l'entrée sur deux transistors PNP montés en différentiel. Le second étage est aussi à transistors dans une configuration Darlington avec une impédance très basse en sortie pour pouvoir attaquer sans problème par rapport au courant de grille le quintuple push-pull de tubes EL84. Ce montage Darlington en couplage direct au niveau des 2 tubes n'entraîne pas de risque de blocage sur des transitoires ultra-violents. Ce montage travaille en pure classe jusqu'à une puissance de 30 W puis en classe AB. L'écoute de ces amplis est remarquable par la précision du placement des interprètes dans un espace tridimensionnel. La clarté de restitution, son caractère cristallin, la fluidité de sa transcription ainsi que l'énergie bien étalée sur tout l'ensemble du spectre sont un véritable enchantement.

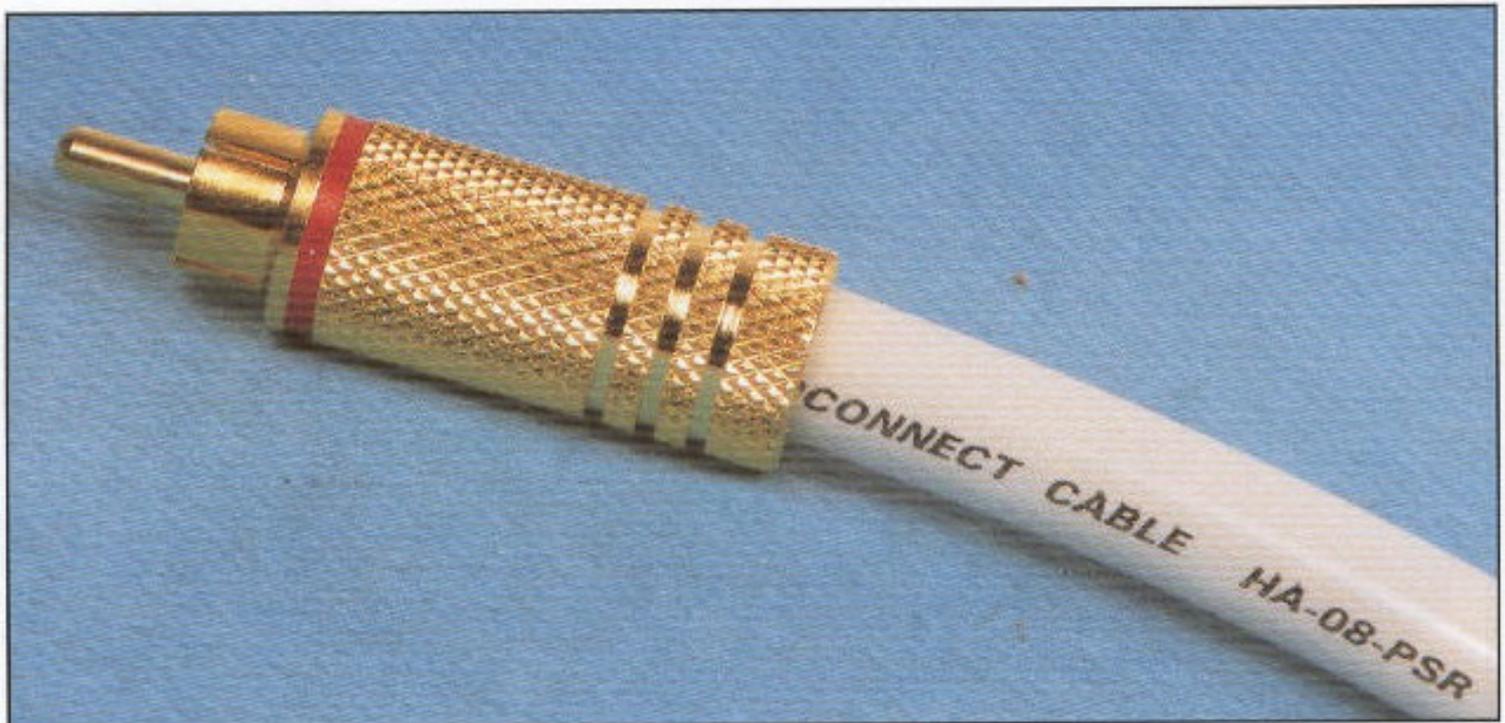
Prix indicatif : 29 000 F la paire



ISODA

Le câble de modulation Isoda HA08 PSR apporte à l'écoute une transparence et une définition extraordinaires. Son pouvoir d'analyse est très poussé, aucune micro-information n'est étouffée ou passée sous silence. La structure harmonique des timbres est respectée grâce à une bonne tenue dans le temps de l'amplitude et de l'ordre de celle-ci. L'équilibre entre l'image vidéo large et profonde et la capacité dynamique évite tout phénomène de projection en avant de la scène sonore ou de déséquilibre vers le haut médium aigu en fonction du niveau. Toutes les formes de distortion par harmoniques ou temporelles sont très reculées contrairement aux autres câbles de modulation de structure classique. Ce bon équilibre est dû à l'utilisation de plusieurs métaux de structures différentes tressés selon une méthode d'entrelacement très serré avec un angle déterminé pour annuler tout les effets de distortion magnétique. Le diamètre de chaque brin, leur longueur, ont été déterminés suite à de nombreuses mesures mais aussi à des écoutes comparatives afin que la réponse en fréquence soit la plus linéaire possible avec un temps de propagation constant. Les effets classique de peau sur les câbles conventionnels dus aux champs magnétiques formés par le passage du courant dans le câble sont exclus de la structure Isoda. Ainsi les formes de compression de dynamique dus à ce phénomène sont fortement diminuées, voire éliminées. Par rapport à la technologie utilisée, la splendide restitution sonore obtenue, les câbles Isoda sont proposés à un prix défiant toute concurrence.

Prix indicatif : 21 000 F le mètre



ROTATOR JVC

Pour tous ceux qui recherchent un câble de transmission par fibre optique qui ne détériore pas le flot d'informations numériques entre un lecteur CD et un convertisseur, une seule solution, la fibre optique JVC Digifine XN-705 Pro. Cette liaison optique se caractérise par l'utilisation d'une fibre de verre de quartz pur d'une transparence inégalée pour éviter la perte de transmission. En comparaison avec les autres fibres optiques standard utilisant une âme en matière plastique, la fibre optique en verre de chez JVC est nettement plus conductrice sans effet de halo entraînant des risques d'erreur au niveau de l'opto-coupleur. De plus, la fibre de verre est protégée par une structure à trois couches, avec tout d'abord : un fin ruban d'acier inoxydable souple mais très résistant pour supporter des torsions, des chocs, des changements de température et d'humidité (la stabilité des performances dans le temps est parfaite), ensuite la fibre est enserrée dans un tube en nylon qui joue le rôle important de système de protection anti-vibration avec à l'intérieur une couche de résine de silicone de 1 mm d'épaisseur. La gaine extérieure est réalisée dans un tube de PVC de 5 mm de diamètre. Les prises de liaison ne sont pas en plastique mais en métal plaqué or 24 carats qui assure là aussi une étanchéité contre les lumières parasites extérieures. Le polissage parfait de la fibre de verre de 0,7 mm de diamètre évite les problèmes de diffraction au niveau des opto-coupleurs qui entraînent des pertes de transmission d'informations. La bande passante capable d'être transmise est de 10 MHz par kilomètre ! Suite à de nombreuses écoutes comparatives, c'est la seule fibre optique, à notre avis, capable de rivaliser avec les liaisons coaxiales tout en apportant un plus en matière de définition.



**Page non
disponible**

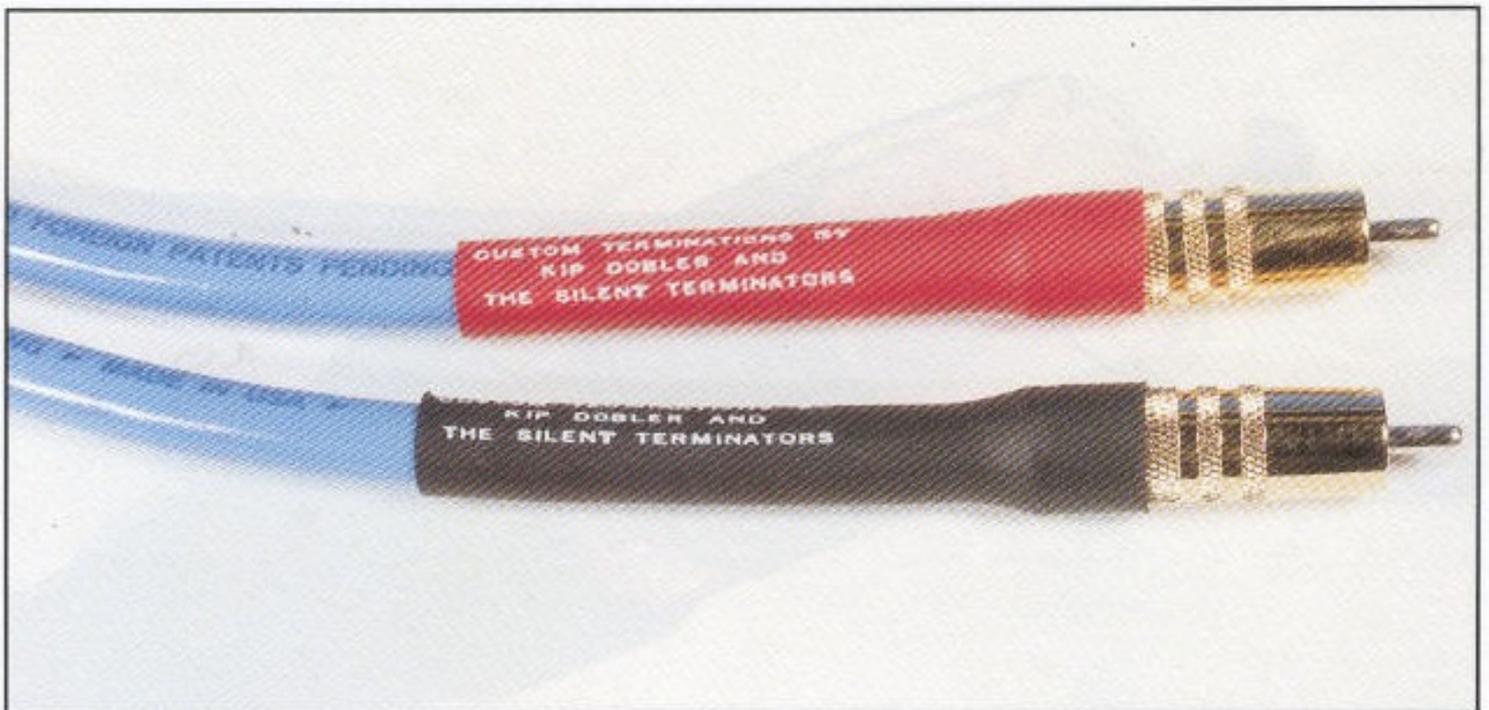
LINK MONITOR

Les câbles Link Monitor ont bénéficié d'études poussées, mettant en valeur suite à des mesures répétitives incontestables des différences marquantes entre les structures et les isolants. Ainsi les câbles de modulation Link Monitor bénéficient : du traitement anti-signal TAS, de la technologie multi-métaux, d'un procédé original pour réduire dans de fortes proportions la capacité, d'un montage en étoile qui évite que le signal ne passe par la tresse du câble qui fait office de blindage et qui n'est pas un conducteur idéal. L'isolant en Teflon permet d'obtenir une vitesse de propagation du signal nettement supérieure. Le traitement anti-signal TAS Link Monitor évite que se produise entre le conducteur et l'isolant des capacités parasites qui donnent naissance à des effets mémoire entraînant des signaux fantômes. Les câbles pour enceintes acoustiques Link Monitor bénéficient aussi de tous ces avantages. La gamme se compose de trois câbles reprenant à la base la même conception. L'originalité des câbles à quatre et huit conducteurs réside dans le fait qu'ils peuvent être utilisés aussi bien en monocâblage qu'en multi-câblage. Des câbles de différents diamètres sont utilisés, les uns assurant la transmission correcte de forts courants et les autres la restitution parfaite et définie des fréquences élevées. Ces câbles bénéficient à notre avis d'un excellent rapport qualité d'écoute/prix. Les résultats auditifs sont étonnants par la netteté, la précision du grave, la douceur de l'aigu qui n'apparaît pas entacher de distorsion. L'ensemble des sonorités reste toujours cohérent sans variation de l'énergie d'un secteur de fréquences à l'autre.



MIT CABLE

Les laboratoires MIT (Music Interface Technologies) sont situés à Auburn en Californie (près de Sacramento). M. Bruce Brisson, fondateur des câbles MIT, a étudié de manière systématique tous les facteurs mesurables en relation avec les différences audibles entre diverses structures de câbles. Cette approche pragmatique et précise se base sur des études de laboratoire très poussées afin d'obtenir des câbles un fonctionnement le plus linéaire possible. Pour ce faire, M. Brisson a développé une méthode d'examen sur le comportement des câbles : les possibilités de transmettre une puissance importante, l'analyse du temps de propagation de groupe en relation avec la tension (pour éviter les phénomènes de retard entre groupes de fréquences), l'étude du comportement entre la fréquence et la phase. Fort des résultats précis, il a pu déterminer les matériaux à utiliser pour ses câbles, le principe de tressage, des boîtiers de terminaison spécifiques de type MITerminator qui assurent un contrôle de l'impédance en fonction de la fréquence, ainsi qu'une excellente immunité contre les bruits extérieurs. Rien d'étonnant qu'un système équipé de câbles MIT paraisse transfiguré, avec une transparence incomparable, des plans sonores qui s'étagent en profondeur selon les critères du preneur de son. De plus on ne rencontre pas de tassement de la dynamique par rapport à d'autres câbles de très haut de gamme ni cette impression bizarre de distorsion dès que l'on pousse le volume sonore. Il s'agit de câbles "extrême" pour perfectionnistes, naturellement il faut que tous les autres maillons du système soient à la hauteur.



MONSTER CABLE

Monster Cable a été l'une des premières sociétés à mettre en évidence les différences audibles entre les câbles de liaison et à apporter une réponse. Il y a plus de quinze ans les câbles de cette société commençaient à conquérir un marché balbutiant en ce domaine. Fort de cette expérience, Monster Cable est devenu l'un des tout premiers fabricants de câbles haute définition. Il propose un vaste catalogue couvrant toutes les applications aussi bien dans le domaine des câbles de liaison haut-parleur que de modulation en couvrant une importante palette de prix. Ainsi Monster Cable est le seul constructeur à proposer une grande variété de câbles s'adaptant parfaitement à chaque système et à chaque budget. On trouve ainsi tout d'abord l'Interlink 400 en câble de modulation avec deux conducteurs symétriques plus une tresse de blindage externe. Chacun est constitué de deux fils séparés soigneusement réunis pour obtenir un réseau grave/grave-médium et un autre réseau médium/aigu dans une configuration parfaitement équilibrée. L'Interlink 500, de très haute performance, utilise une technique de conducteur à deux fils à brins multiples torsadés selon une technologie spéciale pour conserver la linéarité du signal d'origine. L'Interlink Référence 2 dispose d'une tresse de masse externe supplémentaire et de trois faisceaux de câbles multibrins spécialement torsadés. La transparence de ce câble est exceptionnelle avec une immunité contre les risques de bruits extérieurs. Le M1000 MKII est le câble audio de référence pour les liaisons de modulation. Il est équipé de prises Cinch plaquées or 24 carats avec des broches selon une technique turbine à 12 encoches périphériques pour améliorer la surface de contact.



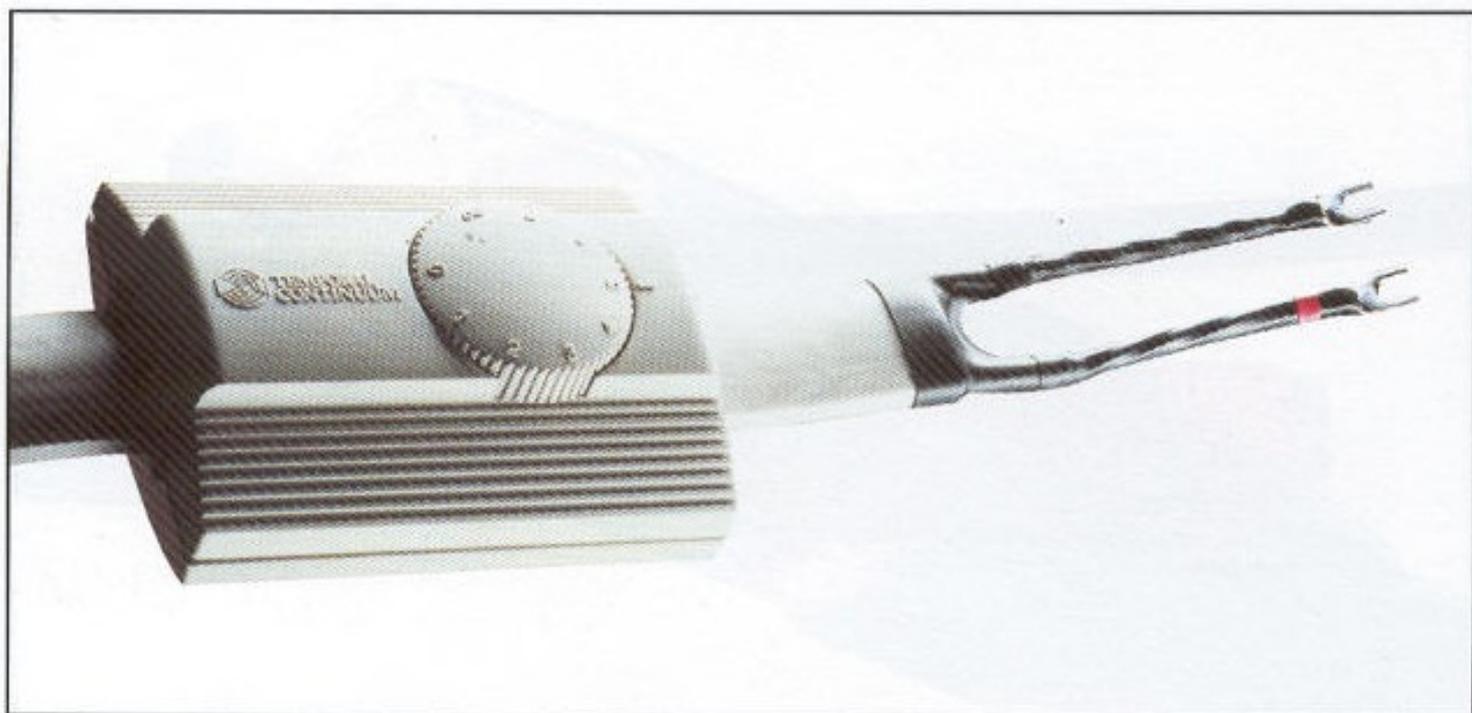
28 OCOS

Il y a une dizaine d'années le concepteur des câbles Ocos avait rencontré des problèmes d'adaptation d'impédance dans les systèmes basse fréquence. Ce phénomène l'a entraîné à la mise au point d'un préamplificateur ayant une bande passante extrêmement large, plus de 1 MHz. Or les câbles d'interconnexion étaient suspectés d'occasionner une limitation de la bande passante résultant de l'action mutuelle de la capacité du câble et de l'impédance de sortie du préamplificateur. En fonction de cette donnée, le préamplificateur fut doté d'un étage de sortie ayant une impédance très basse proche de la valeur 0 ohm. Théoriquement toute influence sur le son dû au câble aurait dû être supprimée, or dans ces conditions des écoutes comparatives démontrèrent que tel n'était pas le cas. Ce fut la base de l'étude de câbles spécifiques dont les paramètres ont été parfaitement équilibrés pour une écoute la plus neutre possible. Les câbles haut-parleur ont un diamètre relativement petit, de 6 mm seulement avec une structure très particulière comprenant un conducteur central entouré d'une gaine isolante dopée partiellement pour être conductrice entourée d'un conducteur externe avec blindage revêtu d'une gaine isolante. Par rapport aux câbles classiques, le câble Ocos n'entraîne pas de perte de niveau. Il peut être utilisé sur des longueurs importantes ou différentes pour les voies gauche et droite sans ressentir de différences notoires à l'écoute. Les caractéristiques de définition, de dynamique sont bien maintenues. Des prises de raccordement spécifiques permettent d'éviter tout risque de court-circuit et toute inversion de polarité.



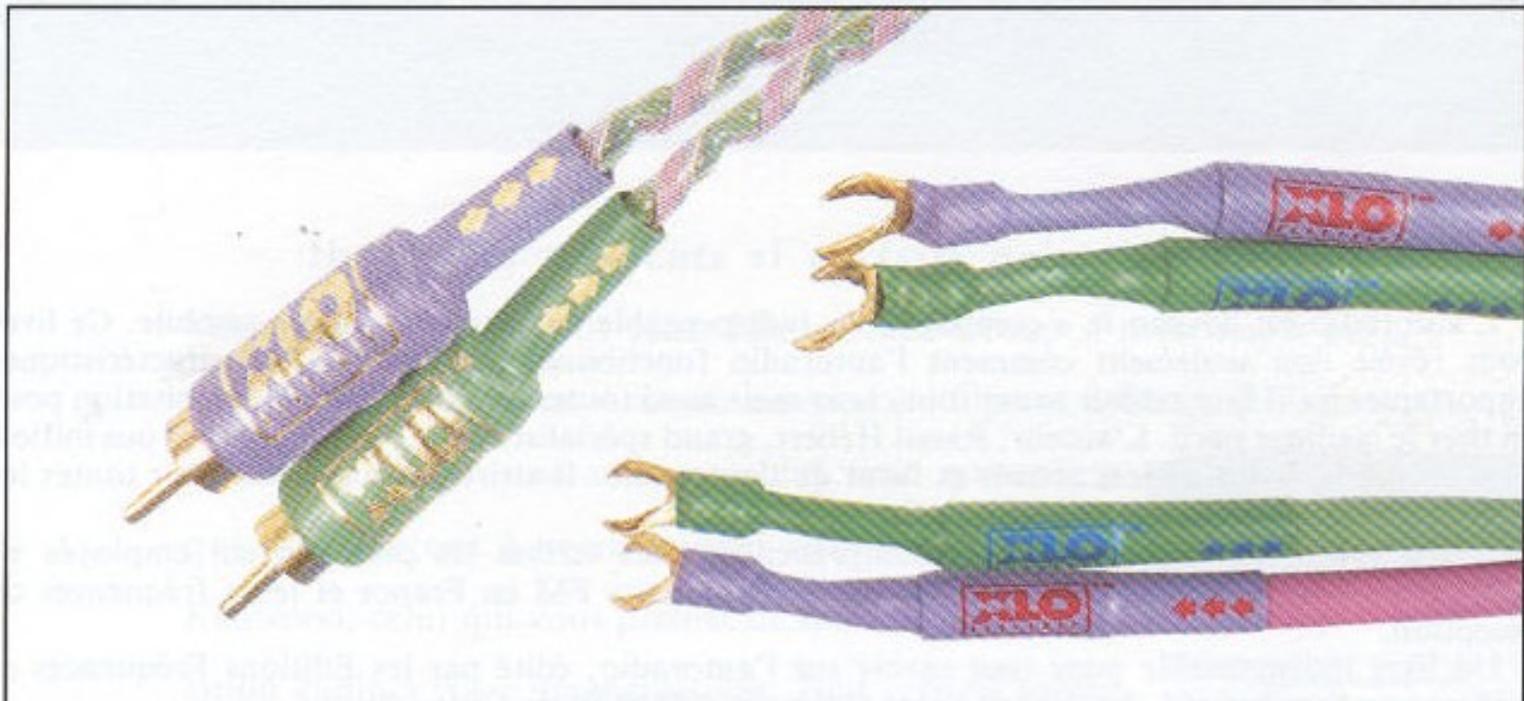
TARA LABS

Les câbles Tara Labs se distinguent par une structure interne d'un type particulier avec des boîtiers de terminaison qui permettent d'ajuster en fonction des haut-parleurs utilisés le maintien de la phase et un amortissement correct. Ces câbles se composent de deux conducteurs principaux extérieurs. Chacun des conducteurs combine le cuivre avec des brins en argent plus des fibres naturelles isolantes au centre et une gaine périphérique en papier. Au milieu deux conduits sont remplis de fibres naturelles en coton pour prévenir tout phénomène électrostatique. Chaque conducteur est espacé pour un parfait respect de la phase. Aux extrémités un boîtier avec un rhéostat à quatre positions permet d'ajuster avec précision la force d'amortissement en fonction du haut-parleur utilisé. Les résultats d'écoute sont extrêmement convaincant. Ce câble est un véritable caméléon il s'adapte parfaitement aux caractéristiques des systèmes pour obtenir une neutralité bienveillante et un pouvoir de définition qui ne se modifie pas en fonction de la puissance. L'énergie est parfaitement distribuée avec un grave d'une excellente tenue.



XLO

La présentation de ce câble peut surprendre avec ses couleurs très "fun". Mais l'habit ne fait pas le moine, ces câbles sont classés aux Etats-Unis dans le peloton de tête des meilleures liaisons possibles. Leur structure très particulière permet d'optimiser et d'équilibrer les champs électromagnétiques et électrostatiques pour une meilleure transmission des signaux audio sans les effets traditionnels de filtres tout en réduisant au maximum les effets d'inductance et de capacitance. Les câbles de modulation apparaissent tressés sur un support tube en matériau synthétique leur procurant cette forme si spéciale. Les matériaux d'isolation en Teflon TFE et FEP assurent aussi une excellente prévention contre les risques d'oxydation et de moisissures. Ainsi les performances de ce câble ne risquent pas de se détériorer au bout de plusieurs années. Chaque brin est individuellement isolé et réalisé dans du cuivre pur à 99,99997%, il ne s'agit pas d'une plaisanterie mais d'un degré de pureté (6N). Ces câbles sont réputés pour le maintien de la phase et l'excellente transmission des micro-informations; un parfait respect de la structure harmonique des timbres. Le câble de liaison haut-parleur est étonnant par la limpidité, la fermeté du registre extrême-grave que l'on redécouvre. Des câbles de haute définition à écouter, ils ont été étudiés avec sérieux en tenant compte de paramètres techniques incontournables.



**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

POINT DE VUE

HAUT-PARLEURS SANS CONCESSION ou L'HISTOIRE D'UNE INSTALLATION (suite)

Jean Leroy



Après la description du choix des transducteurs, est abordée maintenant l'histoire du conditionnement acoustique du local d'écoute et de l'installation pratique des haut-parleurs.

Celle-ci concerne des enceintes sphériques restituant le spectre médium-aigu, la reproduction au-dessous de 200 Hz étant assurée par deux haut-parleurs graves de 34 cm montés sur cloison séparative (véritable baffle infini).

Isolation phonique et correction acoustique

Les audiophiles connaissent généralement bien les performances de l'électronique moderne dans le domaine du bruit de fond (voir encadré n° 1).

Les niveaux de qualité atteints aujourd'hui, même en reproduction de masse, donnent de sérieux

garanties sur le plan des bruits engendrés par les composants actifs. Il est non moins sûr qu'au plan des performances acoustiques la situation est nettement moins brillante, tant les nuisances sont aujourd'hui nombreuses, notamment dans le cadre de vie urbaine.

A défaut de traitements lourds ou laborieux, généralement précédés d'une expertise acoustique

complexe, on doit s'intéresser à un examen objectif élémentaire des conditions physiques de l'écoute Hi-Fi. Cela conduit naturellement à faire la chasse aux nuisances dont on peut avoir la maîtrise. A cet égard, on peut citer :

- l'éloignement des sources de bruit,
 - la protection phonique.
- Dans cette affaire, c'est sou-

Robinet sur évier	62 dB
Robot électroménager	86 dB
Hotte de cuisine	64 dB
Bouilloire	64 dB
Chasse d'eau	68 à 72 dB
Moulin à café	80 dB
Machine à laver	62 dB

Fig. 1 : Niveaux de bruits familiers (à 1 m de distance - pondération A). Ces niveaux sont à rapprocher des niveaux d'écoute directe (40 à 100 dB - cf. L'Audiophile n° 17, page 47).

vent question de bon sens, ce que montre la liste des astuces retenues pour l'aménagement décrit ici.

S'agissant de lutter contre les sources de bruits parasites, on peut citer (cf. figure 1) :

— le traitement des bruits à la source

S'agissant des bruits en provenance des appareils électroménager, on ne peut pas grand chose. En dépit des progrès accomplis par l'Industrie sous la contrainte des normes acoustiques, on ne trouve comme parade que l'éloignement ou l'interposition d'écrans (portes, cloisons). Quelques précautions simples, comme l'utilisation de matériaux amortisseurs (feutres, caoutchouc) ne sont pas à négliger.

Les bruits de plomberie et de chauffage-ventilation peuvent être combattus :

- soit en recherchant des matériels acoustiquement agréés,
- soit en appliquant scrupuleusement les règles de l'art pour la pose des matériaux.

— le traitement des écrans (cloisons, portes)

Si l'on ne veut pas perturber l'écoute par des clics sonores parasites, lesquels ont complètement disparu des disques avec la technique CD, il faut obtenir un isolement maximum à partir des éléments en place, ce qui suppose en particulier pour les portes :

1. qu'on réduise au strict minimum les jeux, à commencer par ceux du bas de porte : un jour de 3 cm réduit à 18-20 dB

Problèmes de bruit

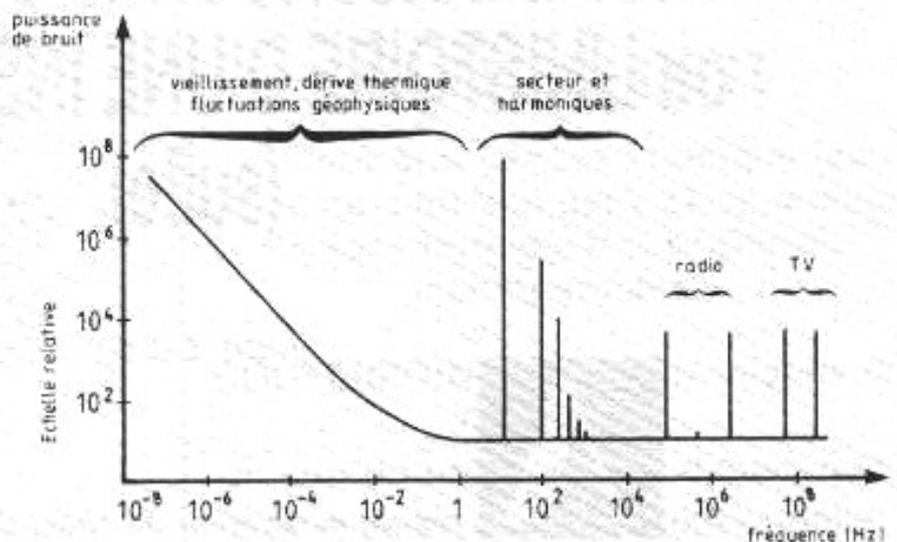
Les bruits venant se superposer au signal amplifié limitent la fidélité et la dynamique de l'écoute Hi-Fi. Il faut donc leur accorder une grande attention :

- le bruit thermique (ou Johnson), qui affecte les résistances (bruit blanc),
- le bruit de grenaille (ou Schottky), qui affecte les tubes, diodes et transistors (bruit blanc),
- le bruit de scintillement (ou Flicker), qui affecte certains tubes (au-dessous de 100 Hz).

Il faut ajouter :

- les bruits spéciaux qui affectent les semi-conducteurs (bruit en 1/f),
- les bruits d'alimentation (résidus secteur et du filtrage),
- les bruits d'induction parasite (effets magnétiques ou électrostatiques) soit d'origine industrielle (contacteurs, moteurs, tubes à gaz, fours HF, générateurs à ultrasons, etc.), soit d'origine radioélectrique (émissions HF, VHF).

La figure ci-après montre la contribution relative de ces différents bruits dus à l'environnement qui se superposent au bruit de fond propre des sources sonores (disques, bandes).



Spectre des bruits d'environnement.

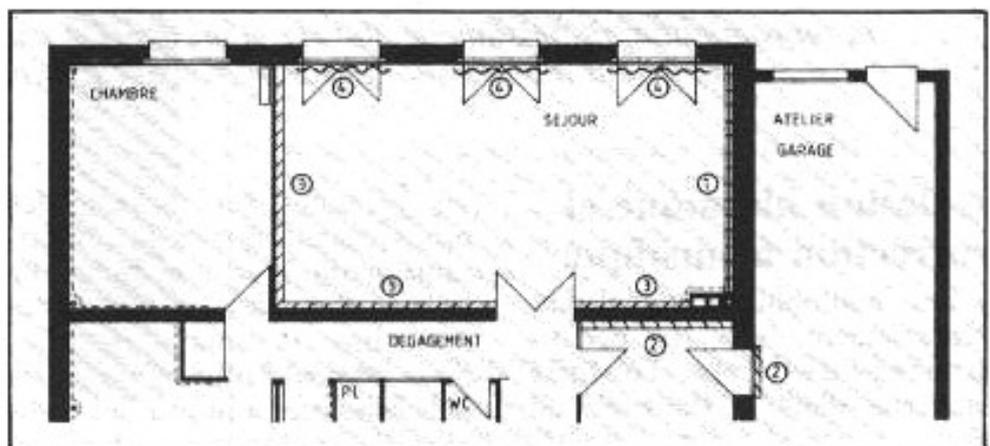
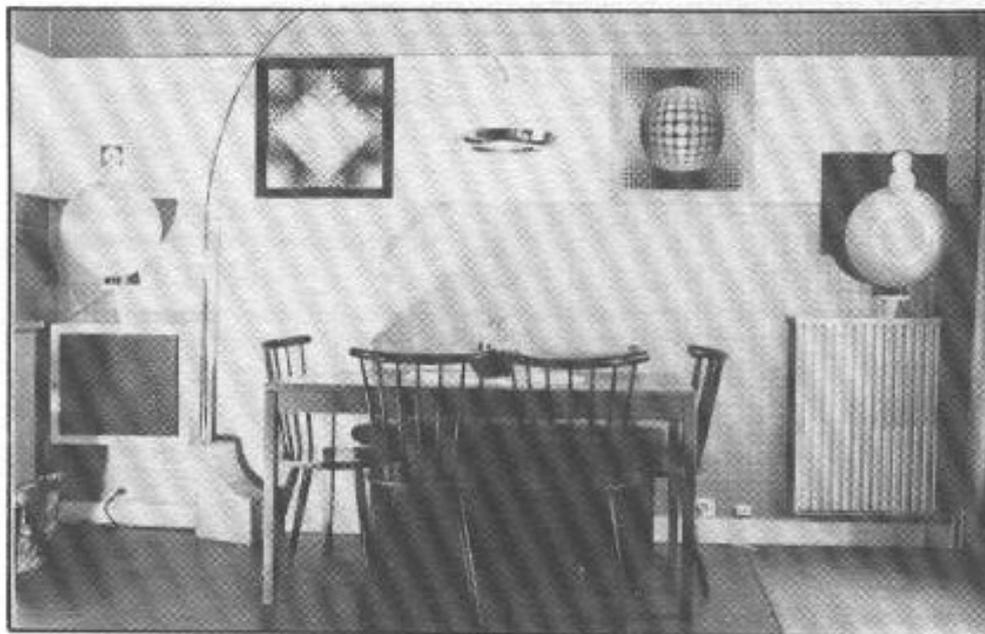
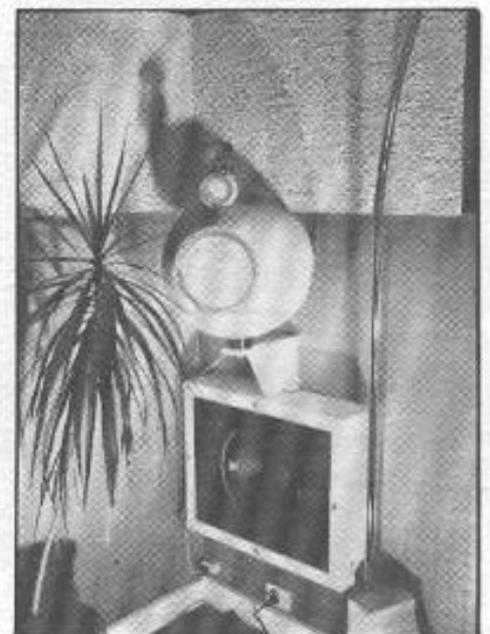


Fig. 2 : Détail de l'aménagement acoustique des parois du local d'écoute. 1. Moquette sur base lourde (caoutchouc épais) - 2. Moquette feutrée. - 3. Bandeau de hauteur 60 cm (dalles acoustiques). - 4. Double rideau en tissu lourd.

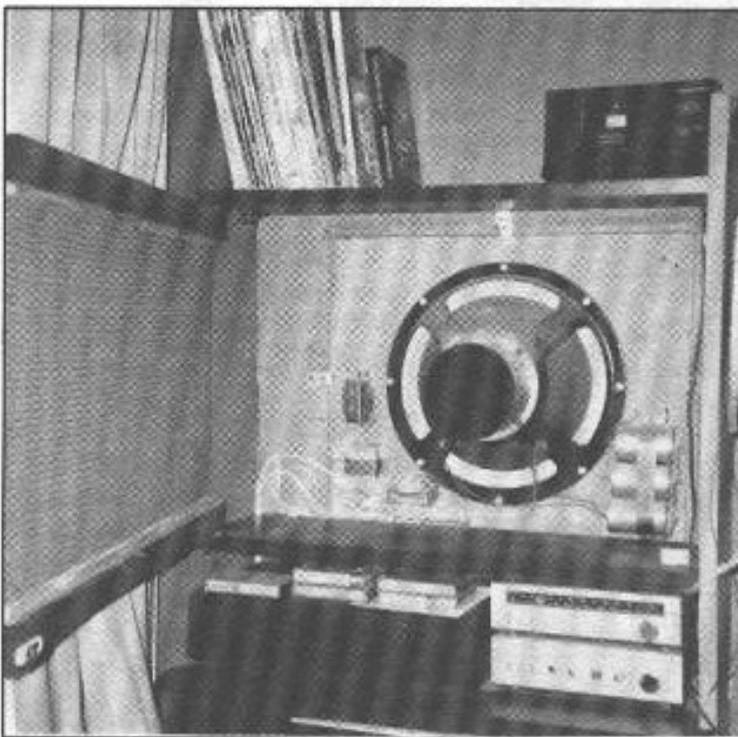


a)



b)

Fig. 3 : Aménagement acoustique du local d'écoute. a) Disposition générale des haut-parleurs. b) Détail d'un système.



a)



b)

Fig. 4 : Détail de l'aménagement arrière d'une voie grave. a) Montage ouvert. b) Montage fermé.

l'isolement maximum (au-delà de 6 cm la porte devient quasiment inefficace,

2. qu'on revête les cloisons et portes de matériaux amortisseurs (feutre, moquette).

C'est ce qui a conduit l'auteur à prendre les dispositions indiquées en figure 2.

Dans ce contexte, c'est l'isole-

ment phonique et la correction de réverbération (rôle du bandeau de dalles acoustiques complétant le décor naturel) à la fois qui peuvent amener un confort relatif de l'écoute domestique.

Montage des haut-parleurs

On notera les particularités en

figure 3 :

1. Les haut-parleurs graves, montés sur châssis du type trappe de comble au format $60 \times 50 \times 4,5$ cm, n'ont pas été fixés à la même hauteur pour les voies droite et gauche, de façon à éviter une symétrie qui ferait cumuler les mêmes ondes stationnaires en écoute stéréophonique. De ce

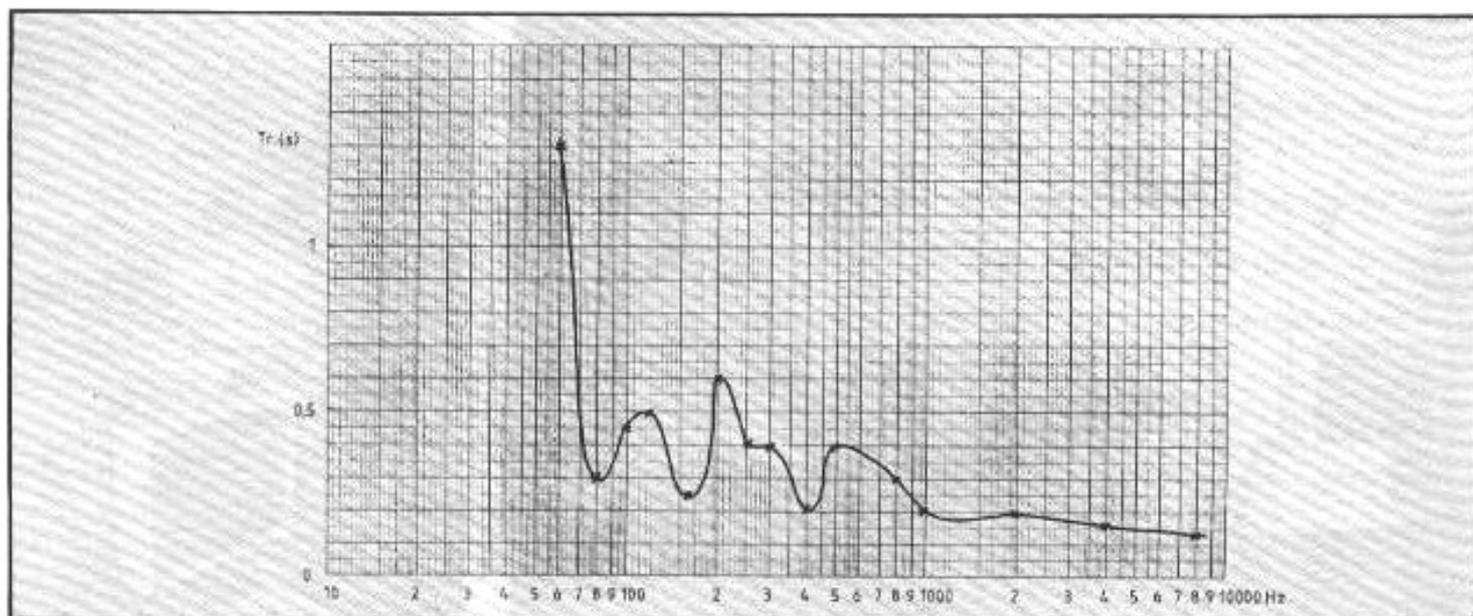


Fig. 5 : Evolution du temps moyen de réverbération.

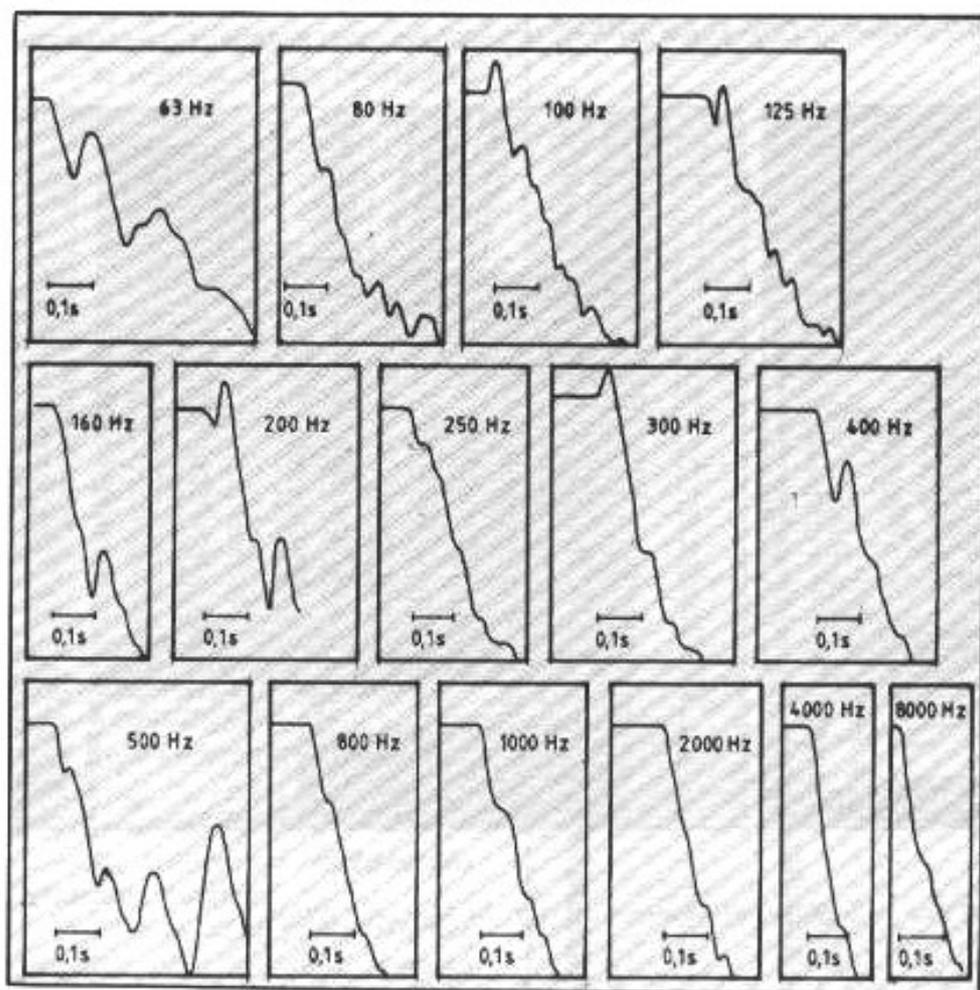


Fig. 6 : Décroissance sonore en fonction de la fréquence dans une salle semi-réverbérante de 70 m^3 ($7,25 \times 3,90 \times 2,50 \text{ m}$).

fait, on assure un certain lissage de la réponse aux basses fréquences.

2. L'isolement étant total entre l'avant et l'arrière des haut-parleurs graves (cloison étanche,

on reste libre d'aménager la partie arrière, en particulier pour une finition esthétique sans contraintes acoustiques (figure 4). C'est ainsi qu'on peut accepter une charge arrière en forme de

baffle à fond ouvert sans effet préjudiciable sur l'écoute en salle principale.

3. L'élément médium-aigu est monté pivotant de façon à permettre un réglage de convergence en fonction de la position d'écoute. Il est placé suffisamment haut (l'axe est à 1,3 m du sol) pour qu'on puisse bénéficier d'une diffraction réduite et limiter l'affaiblissement aux fréquences élevées.

Bilan

Dans les conditions d'aménagement décrites plus haut, on obtient un temps de réverbération indiqué en figure 5. On note alors que la valeur moyenne de 0,2 s aux fréquences moyennes et aiguës répond bien au critère d'intelligibilité pour une audition « sèche » (la salle ne devrait pas influencer sur l'écoute des sons brefs).

On remarque néanmoins dans la figure 6 des variations d'amplitude au cours de la décroissance sonore qui suit l'arrêt de l'excitation du local, ce qui laisse présumer l'existence d'ondes stationnaires qui vont perturber les timbres dans le registre grave (toniques), ce qui milite en faveur d'une égalisation qui sera décrite dans un prochain numéro.

à suivre...

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

Faut-il brûler Fourier ?

Héphaïstos

S

ouvent l'homme finit par brûler l'idole qu'il adorait hier encore. Mais sa fureur iconoclaste n'est guère plus raisonnable que l'idolâtrie qu'elle cherche à effacer. Elle en est plus le double négatif — aussi irrationnel et irréfléchi — que sa négation. Aujourd'hui en audio, l'idole à abattre est Fourier : les théories de Fourier sont beaucoup utilisées en audio. Beaucoup trop nous semble-t-il puisque, prisonniers de ce carcan, les ingénieurs audio ne savent pas comprendre les mystères de l'audio ni traiter de manière satisfaisante pour nos oreilles les problèmes électroacoustiques ! Au seuil d'une nouvelle étude, il nous a semblé nécessaire de bien préciser les limites qu'on peut considérer comme fiables pour bien utiliser les théories de Fourier, sans avoir à en détruire l'idole.

Nous nous sommes donnés pour nos études l'objectif d'améliorer toutes les composantes électroniques de la chaîne de reproduction électroacoustique. Cela nous définit trois principaux champs d'action : le lecteur de CD, l'amplificateur de puissance et les enceintes acoustiques. Pour le lecteur de CD, nous avons une étude en cours pour le cœur de ce maillon : le convertisseur digital-analogique et les filtrages numérique et analogique associés : après un exposé théorique sur ce sujet (voir les nos 7 et 8 — nouvelle série — de *L'Audiophile*), nous

sommes en train de mettre au point une simulation sur ordinateur dont nous aurons l'occasion de reparler. En ce qui concerne l'amplificateur de puissance, nous avons fait quelques découvertes intéressantes et nous cherchons à les mettre en application dans des produits du commerce. Pour cela, nous sommes en discussion avec de possibles partenaires industriels et nous espérons pouvoir aboutir rapidement.

Enfin pour les enceintes acoustiques, nous commençons ici une nouvelle étude. Une enceinte acoustique se compose

de haut-parleurs et de filtres. Nous allons donc nous pencher sur les problèmes des filtres. Ces filtres peuvent être de deux natures : actifs ou passifs. En général, ils sont passifs et inclus dans l'enceinte acoustique (voir la figure n° 1). Ils peuvent aussi précéder l'amplification (c'est alors de la multi-amplification) et, dans ce cas, être passifs ou actifs.

Nous avons retenu pour notre étude le filtrage actif et la multi-amplification car c'est la configuration qui donne le plus de liberté et de souplesse tout en séparant bien les problèmes :

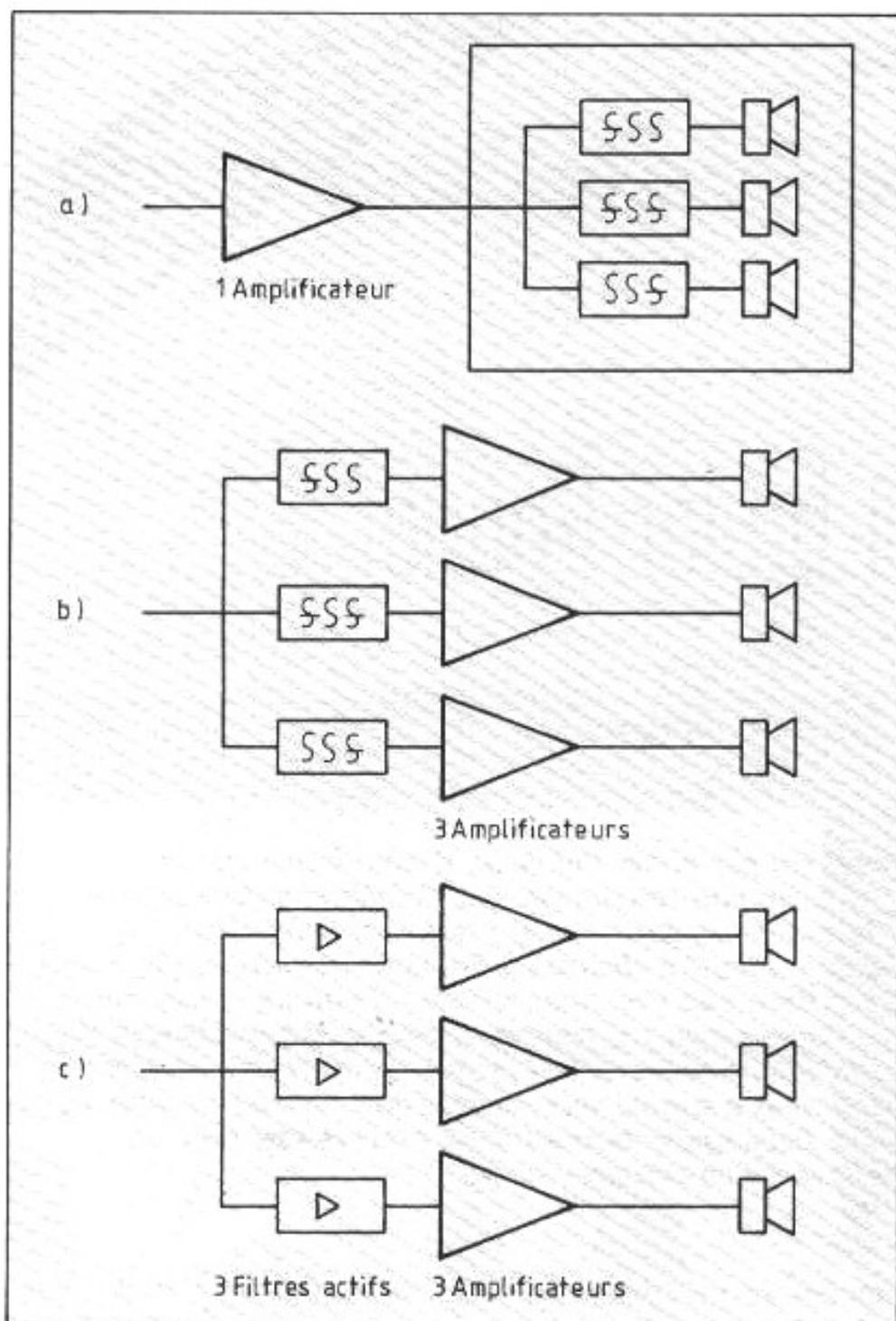


Fig. 1 : Les différents types d'enceintes : a) filtres passifs incorporés à l'enceinte ; b) filtres passifs et multi-amplification ; c) filtres actifs et multi-amplification.

l'interface entre le haut-parleur et l'amplificateur est directe et les filtres n'inter-agissent pas entre eux. En revanche, dans le premier cas de la figure n° 1, les filtres doivent à la fois assurer le filtrage et gérer l'interface entre le haut-parleur et l'amplificateur tout en présentant une impédance acceptable par l'amplificateur dans toute la bande. Nous pensons savoir maintenant suffi-

samment maîtriser les problèmes d'amplification pour ne pas être gênés par la multiplication des amplificateurs que cette conception entraîne.

Dans cet article, nous analyserons d'abord l'impact de l'utilisation de Fourier en audio : nous expliquerons notre remise en cause, nous présenterons quelques erreurs qui nous semblent flagrantes et nous en tirerons la

leçon. Comme illustration de ce qu'il nous semble ne pas être à faire, nous parlerons du procédé de compression de données digitales MUSICAM (devant le danger de la généralisation de ce type de procédé un peu de polémique nous semble nécessaire). Enfin nous verrons deux exemples d'approche du problème des filtres d'enceinte acoustique.

« Science, que de bêtises on dit en ton nom »

Nous n'avons pu faire quelques découvertes dans le domaine des amplificateurs que parce que nous avons su échapper à Fourier et que nous avons su le remettre en cause dans le contexte audio. Pour être exact ce ne sont pas les théories mathématiques de Fourier que nous contestons — nous continuons à les considérer comme parfaitement valables — mais leur utilisation irréfléchie dans un contexte qui ne répond pas exactement à leurs conditions d'application. Ces théories sont un outil si puissant qu'on a vite tendance à oublier leurs conditions de validité.

Nous sommes tous tellement imprégnés de cette culture qu'il faut toute l'absurdité d'une illustration volontairement saugrenue pour faire prendre conscience de l'imposture scientifique qui sévit si largement en audio : si quelqu'un vient à vous dire que les puces entendent avec leurs jambes et que cela est parfaitement et scientifiquement établi, vous serez probablement surpris. S'il illustre son propos de la description de la démonstration scientifique de cette vérité — il suffit dans un premier temps de dresser une puce à sauter quand on lui ordonne « saute ! ». On constate ensuite que si on la prive de ses pattes, elle n'obéit plus à l'ordre « saute ! » et qu'elle est devenue

sourde. La déduction scientifique de cette expérience est que l'organe de l'audition des puces est situé sur ses pattes —, vous commencerez à le regarder d'un air soupçonneux. Si enfin il termine en précisant que ceux qui réfutent une telle vérité scientifique sont des inconséquents qui contestent toute vérité scientifique puisque ce résultat a été obtenu indépendamment par des chercheurs de différents pays, avec des puces qui ne se connaissaient pas, à différentes heures de la journée et dans des langues différentes, vous penserez qu'il est bon pour l'asile psychiatrique ! Et pourtant, en audio on trouve dans des revues très sérieuses de nombreux écrits émanant de gens qui se croient très rigoureux, et contenant des affirmations que je juge aussi peu fondées que ces propos de fou.

Que disent réellement les théories de Fourier ? En deux mots : dans l'ensemble des fonctions réelles continûment dérivables à une seule variable, l'ensemble des sinusoides d'amplitude donnée de phase 0° et π° constitue une base. C'est-à-dire que toute fonction peut se décomposer en une combinaison linéaire de sinusoides. Cela permet de dire que tout système linéaire est parfaitement défini par son comportement sur des signaux sinusoidaux. C'est pourquoi les signaux sinusoidaux sont un moyen extrêmement puissant pour analyser les systèmes linéaires.

Mais cela ne veut surtout pas dire que la connaissance du comportement non-linéaire d'un système qu'on aimerait linéaire, testé avec des sinusoides, permet de définir totalement le comportement de ce système (c'est-à-dire sur tout signal) ! Une telle affirmation (aussi rigoureuse que les affirmations ci-dessus sur les puces rendues sourdes par l'ablation de leurs pattes) semble pourtant couramment admise dans le monde de l'audio ; pré-

senter le contraire passerait en revanche comme relevant de l'anti-science !

Les ingénieurs audio ont été formés avec les théories de Fourier. Ils aimeraient bien que leurs systèmes soient linéaires, ce serait tellement plus simple. Alors, passez muscade, ils font comme s'ils l'étaient. Pour les étudier comme pour analyser leurs non-linéarités, ils oublient les conditions de linéarité requises pour appliquer Fourier (au diable toute rigueur ! et voilà pourquoi votre puce est sourde). Ainsi, tout le monde est content, à part quelques râleurs d'audiophiles qui ont l'impudence de remettre en cause des méthodes scientifiques si bien établies.

Ayant été moi-même formé à cette école et ayant dû faire preuve de beaucoup de sens critique pour découvrir où le raisonnement pêchait, je comprends fort bien les réactions des ingénieurs audio et leur attitude scandalisée en face des remises en cause des audiophiles. Mais ils doivent comprendre qu'ils appliquent mal ce que leur ont appris leurs professeurs et que la rigueur est loin d'être de leur côté.

Le très sérieux (et très britannique) *Electronics World-Wireless World* de juin 1992 illustre à merveille les conséquences déraisonnables d'une telle attitude : ce journal rapporte des mesures faites au moyen d'un distorsiomètre de très grande précision réalisé par d'anciens ingénieurs de Tektronix. Ceux-ci ont constaté qu'en remplaçant la capacité de blocage du continu dans le pied du réseau de contre-réaction d'un amplificateur par une capacité d'un autre type (opération décelable à l'oreille), on trouvait de très subtiles modifications dans le spectre de distorsion (au niveau de $-110/ -120$ dB). Pour le rédacteur de cet article, on tient peut-être enfin la preuve objective que les Oreilles d'Or

ont raison. Si les ingénieurs qui ont réalisé cet appareil et fait ces mesures (ils ont donc une grande compétence en électronique) n'avaient pas été imbibés de Fourier jusqu'à la moelle, ils auraient peut-être eu conscience de l'inutilité de leurs mesures : comment peut-on imaginer que l'oreille puisse entendre des distorsions si faibles ? A titre de comparaison, on peut se souvenir que la dynamique totale de l'oreille (entre le seuil de douleur et le seuil de détection), est d'environ 120 dB. Il faut donc écouter pratiquement au seuil de la douleur pour profiter de ses oreilles d'or ! Je suis bien content de ne pas en avoir et d'écouter de la musique pour le plaisir. Idem pour le rédacteur de l'article : s'il avait eu un peu de sens critique et avait osé douter de Fourier, il n'aurait pas eu le ridicule d'écrire un article qui ne peut que convaincre les gens sérieux qui croient à Fourier et non aux oreilles d'or que, décidément, il n'y a que les gogos pour croire leurs oreilles ou celles des escrocs.

Malheureusement, tant que le monde de l'audio n'aura pas compris que l'application irréfléchie de Fourier l'a conduit dans une impasse, on peut craindre que celui-ci ne progresse guère. On peut légitimement appliquer Fourier aux signaux audio et les décomposer en signaux sinusoidaux, mais il ne faut pas oublier que **les sinusoides ne peuvent caractériser complètement que les systèmes linéaires.**

L'oreille est-elle linéaire ?

Nous avons vu pourquoi Fourier est impropre pour étudier les non-linéarités et on pourrait penser que pour notre nouveau sujet d'étude (les filtres pour enceintes), qui correspond à une opération linéaire, il est parfaitement adapté. C'est vrai pour l'étude

des filtres, mais le point qui nous semble le plus important, ce sont les spécifications de ces filtres : les filtres parfaits (pentes infiniment raides et sans rotation de phase) n'existent pas. Il faut faire des compromis et des choix. Quel critère retenir pour le meilleur choix ? On peut, sans rien vouloir entendre, prétendre, en utilisant un modèle théorique de l'oreille, que tel choix est forcément le meilleur. On peut aussi avoir une approche pragmatique et demander l'avis de ses oreilles. Une telle approche nous semble plus satisfaisante.

Dans les deux cas, nous voyons intervenir l'oreille. La bonne question est donc : pouvons-nous appliquer Fourier à l'oreille ? L'oreille est-elle linéaire ? Malheureusement la réponse est négative et je voudrais citer l'excellent ouvrage de E. Leip : « La machine à écouter » (Masson, 1977). Il écrit : « L'audition relève d'un système informationnel qui ne fonctionne absolument pas comme les appareils de mesure, d'analyse et d'enregistrement utilisés actuellement par les acousticiens. On ne peut donc être surpris de constater les difficultés, souvent insurmontables, qu'éprouvent les spécialistes pour raccorder les doctrines et méthodes métrologiques actuelles avec les problèmes pratiques de notre environnement acoustique qu'ils ont à traiter. On pourrait citer d'innombrables exemples. Il est alors légitime de se demander si les appareillages et méthodes dont se servent les chercheurs et les spécialistes sont adaptés aux problèmes qu'on se propose de résoudre avec eux. En fait, ces appareillages et méthodes ont été conçus en fonction de considérations technologiques, et ils sont parfaitement appropriés lorsqu'il s'agit de construire et de tester des appareils électroacoustiques, où les mesures physiques sont indispensables. Lorsqu'on a commencé à

les utiliser pour étudier les problèmes auditifs, on les a « corrigés » en fonction de l'oreille, plus exactement de ce qu'on savait à travers les recherches des physiologistes : ainsi a-t-on incorporé, par exemple, des « réseaux de pondération » dans les audiomètres ou les décibelmètres. Mais il est évident que ces systèmes figés ne peuvent être mis en parallèle avec un système auto-adaptatif comme l'oreille... D'où de nombreuses difficultés. »

Quand E. Leip a écrit ces lignes qui contestent de nombreux travaux faits sur les oreilles en utilisant inconsidérément Fourier, il était encore trop indulgent pour les ingénieurs, ces prêtres de Fourier. Les audiophiles ne savent que trop que les appareillages et méthodes ne sont toujours pas parfaitement appropriés pour construire et tester les appareils électroacoustiques. Peut-être auront-ils une chance de le devenir quand les ingénieurs audio auront appris à utiliser Fourier et qu'ils sauront ce qu'il faut mesurer.

Ils auront peut-être lu les livres de E. Leip. Si vous ne les avez pas encore lus, je vous les recommande vivement. Sans aller aussi loin que lui dans les détails pour cet exposé, on peut illustrer notre propos de quelques réflexions : tout d'abord, qu'est-ce exactement que la linéarité ? Fondamentalement on dit qu'une fonction F est linéaire si, quels que soient a et b , on peut écrire :

$$F(a + b) = F(a) + F(b)$$

De même un système est dit linéaire si les effets de la somme de deux causes sont la somme des effets de chacune des causes. Ainsi, sachant que l'écoute de la symphonie en sol mineur de Mozart me procure un certain plaisir et que l'audition du troisième Brandebourgeois un autre plaisir, je peux dire que je suis linéaire si l'écoute simultanée de

ces deux œuvres me procure ces deux plaisirs simultanément. J'ai bien peur de ne pas être linéaire. On me dira peut-être que je me moque du monde et que mon audition est bien linéaire puisque durant cette écoute simultanée et déplaisante, j'entendrai bien les deux œuvres. Ce n'est pas si vrai, car si j'aurais bien la sensation d'entendre ces deux musiques, la cacophonie sera telle que je ne pourrai pas distinguer des détails que je sais percevoir sur chaque musique prise séparément. Les ingénieurs me diront que c'est la complexité des deux signaux musicaux qui conduit à une non-linéarité, que les fonctions non-linéaires peuvent être considérées comme linéaires sur une petite échelle et que les traiter alors comme des fonctions linéaires est une approximation acceptable et bien pratique. Malheureusement, à faible niveau, l'audition n'est pas non plus linéaire : la notion de seuil est contraire à la linéarité et l'oreille présente un seuil au dessous duquel elle ne détecte plus les sons.

Il faut comprendre que l'audition est un système biologique destiné à favoriser la survie des espèces en apportant aux individus une connaissance supplémentaire sur leur environnement par analyse des vibrations du milieu ambiant (l'air pour nous). Nous avons détourné ce capteur pour en faire un récepteur de communication et, avec la musique, une source de plaisir. Mais ce n'est pas un récepteur qui traite de l'énergie comme les systèmes de communication que conçoivent nos ingénieurs. L'exemple de la figure n° 2 (un tone burst comme on dit en bon français technique) illustre bien la différence qu'il y a entre énergie et information dans un signal. Et l'impression de linéarité qui résulte de la conscience de plusieurs signaux sonores simultanés ne doit pas nous abuser : notre audition n'est pas linéaire. Ainsi notre champ de

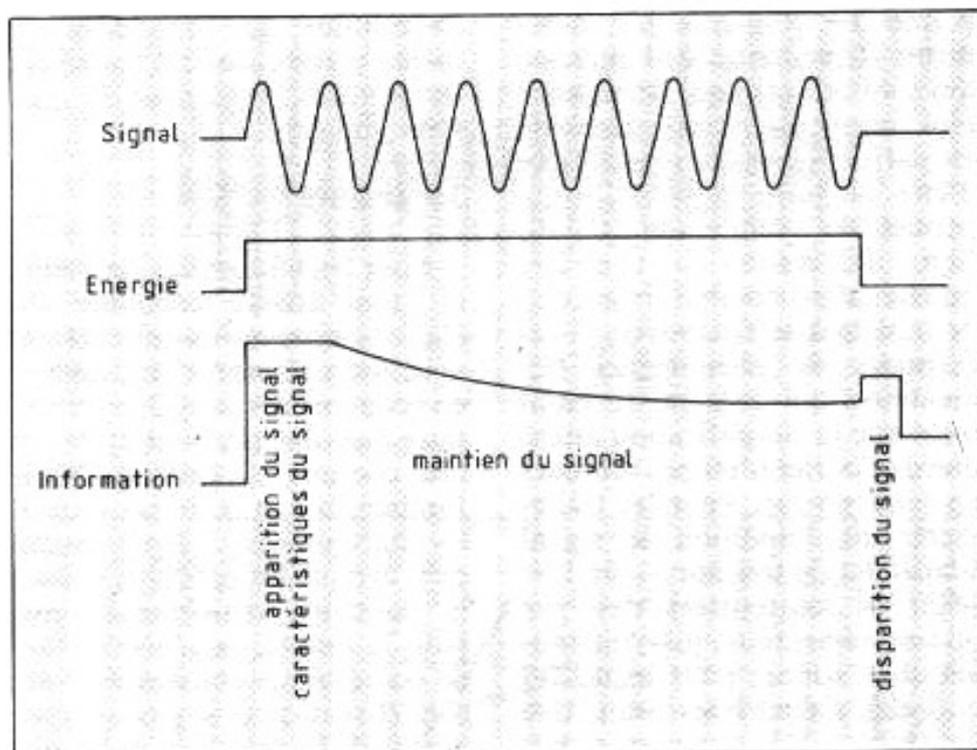


Fig. 2 : Différence entre énergie et informations sur un signal simple.

conscience a une taille limitée que nous ignorons comme nous ignorons la tache aveugle de chacun de nos yeux. Quand ce champ de conscience est dominé par l'image, les sensations auditives ne savent plus être porteuses de beaucoup d'informations. D'où la pauvreté des trucages sonores au cinéma, ou encore l'impression d'embellissement du son avec un vidéodisc quand on coupe l'image en ne gardant que le son : toute la beauté du son dont on ne se rendait pas compte avec l'image, envahit alors notre champ de conscience, avec de nombreuses informations qui était rejetées quand l'image était présente.

Nous écoutons avec nos oreilles et avec notre mémoire. Cela est également très important et très peu pris en compte. Quand nous recevons un coup de téléphone, nous n'entendons pas la même voix avant et après que l'interlocuteur a été reconnu ; c'est notre mémoire qui, sans que nous en ayons conscience, aide notre oreille à corriger les défauts de transmission du téléphone.

Comme le déplore E. Leip,

pour beaucoup d'acousticiens et pour les ingénieurs, l'oreille n'est qu'un capteur analysé avec l'aide de Fourier et répondant à un modèle linéaire sur lequel on a plaqué quelques corrections pour tenir compte des bizarreries les plus criantes de la réalité. Ces corrections sont bien sûr exprimées en termes « fourieristes ». On aboutit ainsi, par exemple, avec des sinusoïdes, aux fameuses courbes de Fletcher et Munson. Ces courbes sont intéressantes et riches d'enseignement, mais combien parmi leurs utilisateurs se souviennent qu'elles ont été établies avec des signaux sinusoïdaux qui sont pour l'oreille des artefacts, comme le dit E. Leip, et qu'elles dépendent fortement des conditions expérimentales (c'est pourquoi il existe des courbes concurrentes qui ont la même forme mais présentent des écarts importants) ? Elle ne tiennent pas compte en outre des phénomènes transitoires aussi bien au niveau de l'oreille moyenne que de l'oreille interne. On a appris à nos braves ingénieurs que le comportement sur des sinusoïdes caractérisait totalement un système linéaire, alors

il ne se posent pas de questions et ils y vont joyeusement. Nous examinerons un peu plus loin une de ces bizarreries (l'effet de masque) et nous verrons comment elle a été utilisée par des ingénieurs.

Notre audition est un peu un capteur (ou plutôt deux capteurs symétriques) et beaucoup de traitement. Le capteur est plein d'astuces mais il est vraiment imparfait quand on le compare aux appareils de mesure que font les ingénieurs. Il combine une analyse temporelle de constante de temps relativement élevée (Fourier ? connaît pas !) à une analyse vaguement fréquentielle qui pourrait faire croire aux fans de Fourier qu'ils ont parfaitement raison. Signalons simplement pour tempérer leur autosatisfaction qu'avec Fourier, on ne sait pas expliquer totalement la sensation de hauteur d'un son (l'explication avec le fondamental, dont on abreuve les ingénieurs dans les écoles, ne tient que pour une partie du problème — voir le livre de E. Leip — et on a découvert depuis comment produire un son d'une hauteur donnée avec un signal qui, pour Fourier, a un spectre de bruit blanc). Et comment expliquent-ils qu'un piano accordé scientifiquement avec une métrologie hyper-rigoureuse sonne faux ?

Nous avons écrit que le capteur est très imparfait. En revanche le traitement est extrêmement puissant et il travaille sur une base de données très importante. Cette base de données déborde largement le champ sonore et se combine à d'autres bases de données (données visuelles, tactiles, olfactives, affectives, ...etc). Parmi les traitements mis en œuvre, on peut en citer deux que les ingénieurs utilisent dans leurs systèmes de communication ou d'analyse et qui sont totalement oubliés dès qu'il s'agit de l'audition. Le premier est très utilisé en technique radar, c'est la post-intégration.

Elle consiste à accumuler des signaux véhiculant la même information mais trop faibles pour être utilisés individuellement, jusqu'à obtenir un signal utilisable pour traiter l'information. La post-intégration permet de repousser les limites de sensibilité. C'est elle qui permet à l'oreille de détecter des distorsions plus faibles que celles générées par le capteur (ce qui est considéré comme impossible par les théories fourieristes). C'est pour cela que les tests subjectifs faits sur des signaux brefs n'ont pas grande signification.

Autre traitement connu (en analyse de données) : l'utilisation de connaissances a priori sur le signal. Elle permet à l'oreille de franchir encore des interdits pour Fourier : on peut ainsi comprendre encore la parole 20 dB en dessous du bruit. C'est parce que les messages sonores possibles sont limités à l'intérieur d'une base de données qui correspond à la langue utilisée et que nous appliquons une espèce de correction d'erreurs aux informations mutilées reçues. En revanche, si la langue nous est inconnue, nous sommes dans l'incapacité de régénérer le signal et nous ne devinons plus que de vagues sons qui sont noyés dans le bruit et que nous serions bien incapables de reconnaître ou de reproduire.

Une autre utilisation des données mémorisées concerne le capteur imparfait utilisé : non seulement le capteur est parfaitement connu et ses défauts, dont nous n'avons pas conscience, peuvent être souvent corrigés, mais la connaissance du capteur (et de ses défauts) et des sons entendus permet des analyses impossibles au modèle fourieriste de l'audition comme le positionnement vertical des sources sonores.

Toutes les analyses faites sur l'audition avec des signaux sinusoïdaux se bercent de l'illusion que l'utilisation de signaux élémentaires (au sens de Fourier)

permet de connaître les traitements élémentaires de l'audition qui sont utilisés pour les signaux plus complexes. Si cette assertion est parfois vraie, elle est fort loin d'être la vérité universelle qui permet de comprendre l'audition. Je crains au contraire qu'elle n'ait conduit beaucoup de monde à se fourvoyer, et les exemples de phénomènes élémentaires qui vont suivre montrent que la simplification attendue de Fourier n'est pas toujours au rendez-vous. Pour les traitements de l'audition le signal sinusoïdal (le ton pur — sic ! — selon les fourieristes) n'est pas un son élémentaire, mais un nouvel objet sonore pour lequel les données mémorisées sont très limitées, sauf si vous avez la malchance d'avoir déjà été un animal de laboratoire aux mains d'un fou de Fourier. Cela ne veut surtout pas dire qu'on aura alors accès à une sensation élémentaire non traitée par le processus de reconnaissance, ceux-ci seront de toute façon activés et pollueront la sensation de souvenirs voisins : « c'est un sifflement ».

Le vibrato

Le vibrato est une technique bien connue en musique (par les chanteurs comme par les violonistes) Elle consiste à faire subir à une note de rapides et faibles de variations de hauteur. Ces variations ont une rapidité et une amplitude à la limite des capacités de détection de l'oreille. Le résultat obtenu est une sensation d'intensité supérieure. L'explication semble être liée au renouvellement des informations élémentaires correspondant à la note émise, qui maintient l'attention sur la note sans toutefois déclencher la sensation d'une nouvelle information. Essayez donc d'expliquer ce phénomène avec Fourier pour lequel cette modulation se traduit par un étalement de spectre avec diminution de

l'amplitude du fondamental ; même si vous avez été formé par les Jésuites, vous avez de quoi vous amuser !

Le timbre

Pour les fourieristes, le timbre est une affaire entendue (!), claire et nette qu'ils ont explorée avec leurs damnées sinusoïdes ; en écoutant des sons de synthèse faits avec des sinusoïdes, ils ont tout compris : la hauteur c'est le fondamental et le timbre ce sont les harmoniques. Nous avons déjà évoqué les problèmes liés à la hauteur ; malheureusement, pour le timbre, la généralisation de ces résultats obtenus avec des sons élémentaires se passe encore plus mal. En musique, par exemple, les sons produits présentent des phases transitoires (voir la figure n° 3). L'analyse de ces sons musicaux montre que le contenu harmonique varie énormément pendant le transitoire (voir la figure n° 4) alors qu'il est relativement stable durant le régime établi. Si on ampute de leurs attaques (phase transitoire initiale) les notes produites par des instruments de musique fort différents, l'oreille se met à les confondre. Le transitoire de l'attaque est essentiel pour reconnaître le timbre d'un instrument. Et pourtant l'analyse de ce transitoire faite avec Fourier (comme sur la figure n° 4) n'est ni stable ni reproductible d'une note à l'autre alors que nous reconnaissons sans hésiter les notes des instruments de musique. Les transitoires correspondent à une énergie plus faible mais ils contiennent plus d'informations. La reconnaissance du timbre des instruments passe sans doute par l'exploitation des informations mesurées par les oreilles (pas toutes de nature fréquence/amplitude à la Fourier), corrigées en fonction des conditions d'écoute et comparées à notre base de données sur les instruments de musique. On

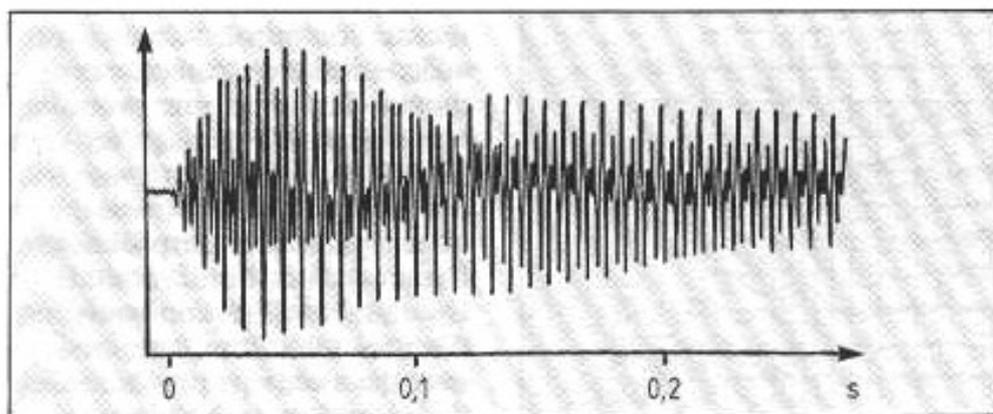


Fig. 3 : Début d'une note de piano.

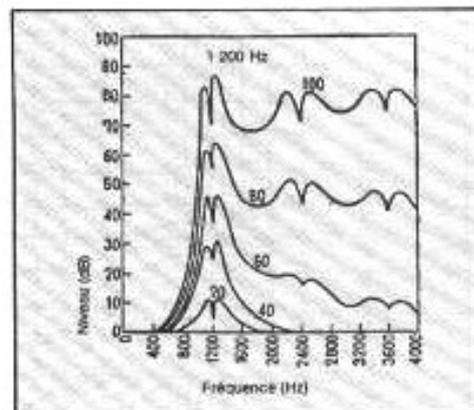


Fig. 5 : Effet de masque.

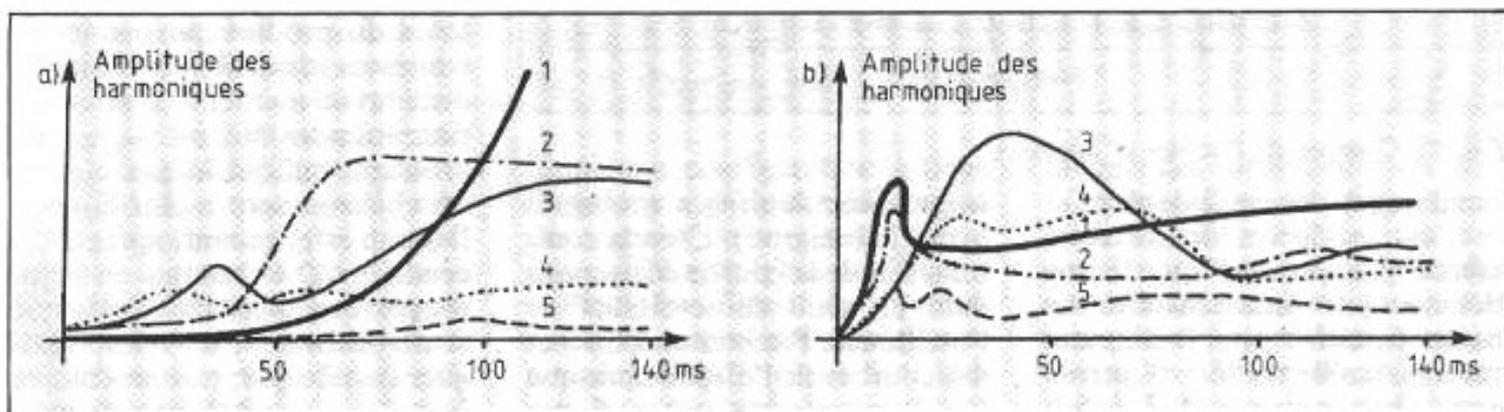


Fig. 4 : Analyse spectrale de transitoires (d'après Winckel) ; a) note de violon ; b) note de trompette.

est loin de la vision simple, simplifiée, simplificatrice et finalement simpliste des rois de la sinusoïde.

L'effet de masque

L'effet de masque est un pur produit de la mesure. En analysant l'audition simultanée de deux sinusoïdes, on peut découvrir que, dans certaines conditions de fréquence et d'intensité relatives, l'une des sinusoïdes cesse d'être perçue (voir la figure n° 5). Alors que certains restent prudents, comme par exemple J.-J. Matras (« Le son » - Presses Universitaires de France) qui écrit : « ... les courbes dessinées par Wegel et Lane (masquage d'un son pur par un son pur) et celles dessinées par Egan et Hake (masquage d'un son pur par un son de bande - mélange de fréquences comprises entre deux valeurs données) ne peuvent pas être généralisées simple-

ment... », la règle générale est de rajouter le phénomène « effet de masque » sur le modèle fourieriste de l'audition. Nous allons voir comment des ingénieurs audacieux savent doser la rigueur nécessaire pour faire un produit qui utilise l'effet de masque.

Utilisation de Fourier

Il serait plus exacte d'intituler cette partie de mon exposé « détournement de Fourier » ou « dévoiement de Fourier ». En effet Fourier est un grand théoricien qui n'est nullement responsable des abus qui sont commis avec sa théorie.

“Fourier for ever”

Un premier exemple d'utilisation, qui me semble abusive, des théories de Fourier nous est fournie par le procédé MUSI-CAM (Masking-pattern Univer-

sal Sub-band Integrated coding And Multiplexing). développé par Philips avec l'Institut für Rundfunk Technik en Allemagne, avec le Centre Commun d'Etudes de Télédiffusion et Télécommunications en France et avec Matsushita Electric Corporation au Japon. Ce procédé de compression des informations numériques audio est destiné aux nouvelles cassettes numériques de Philips (DDC). Il est présenté par A.J.M. Houta qui travaille à l'Institute for Perception Research et qui est professeur de psychoacoustique à l'Eindhoven University of Technology, dans le *Philips Journal of Research* (vol. 47 n° 1 1992), sous le titre « Psychoacoustics And Modern Digital Audio Technology ». Je me suis beaucoup amusé à lire cet article qui est d'un bon niveau dans la catégorie « humour technique involontaire », puis en réalisant que ce système risque d'être utilisé pour la radio

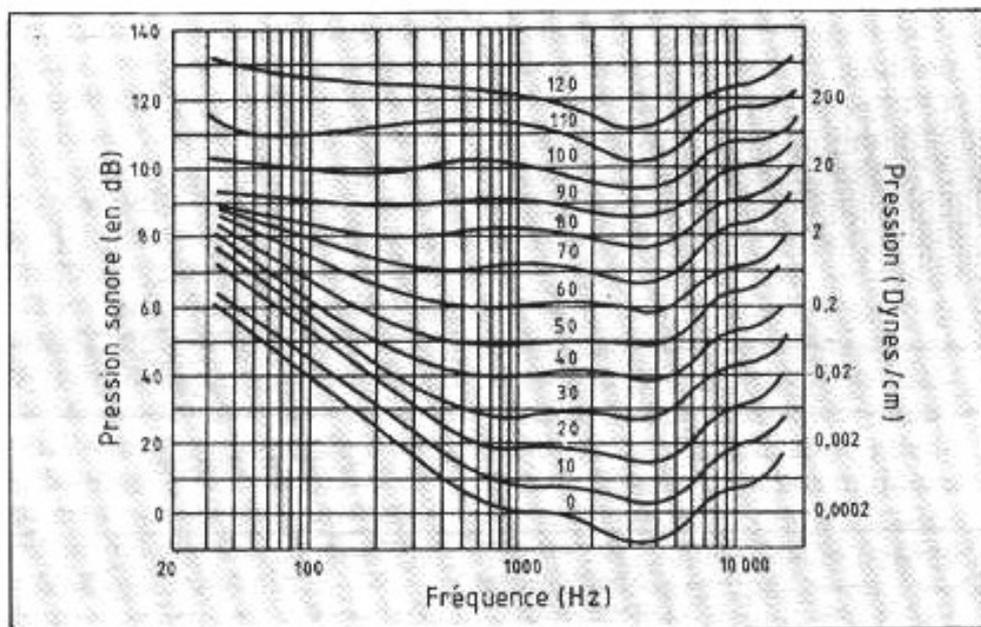


Fig. 6 : Courbes de Fletcher et Munson.

numérique, j'ai cessé de rire !

L'auteur de cet article commence par préciser que le son délivré par une installation haute-fidélité est facilement reconnaissable du son d'un concert : ceci montre qu'il est lucide et loin des préoccupations et du niveau de reproduction des audiophiles ; cela semble aussi limiter la portée du procédé présenté. Ensuite il se félicite de la participation des psychophysiciens aux études des technologies du son, les courbes de Fletcher et Munson (voir la figure n° 6) — Fletcher travaillait au Bell Telephone Laboratories — lui semblent une contribution essentielle aux techniques sonores, la preuve en est donnée par la correction de loudness dont bénéficient tous les amplificateurs stéréo dignes de ce nom.

Il nous présente ensuite les bases du procédé : le public a pris l'habitude du son digital mais le débit d'informations correspondant (1 411 200 bits/sec) est trop élevé pour les cassettes DDC et conduit à accroître le coût de la transmission radio. La solution est de réduire le débit d'informations en éliminant les informations inutiles ou redondantes : « *This is mostly a question of logic and mathematics, and does not involve any know-*

ledge about hearing » (puisque'il le dit, le bougre !) C'est la combinaison de la courbe correspondant au seuil de sensibilité de l'oreille (cf. Fletcher and Co.) et des courbes de l'effet de masque (voir un exemple sur la figure n° 5) qui permet de séparer les sons entendus des sons inutiles.

Pour accomplir cette opération, le signal est divisé en quantum de 8 ms qui sont groupés par 3 et analysés par une transformation de Fourier (une FFT à 1 024 points pour les spécialistes) ; on détermine ensuite l'énergie présente dans chacun des 32 canaux de 700 Hz en lesquels la bande audio est divisée. Le spectre instantané ainsi obtenu permet de déterminer « *... a masking function... based on fundamental psychoacoustic rules and models...* » et ainsi de définir les canaux où le signal est utile et doit être codé, ainsi que la précision nécessaire au codage pour que le bruit de codage soit juste au-dessous du seuil de masquage.

Bien sûr, toutes les fées de la psychoacoustique qui s'étaient penchées sur le berceau de MUSICAM, ont permis également de le tester et de le valider : pour cela un fragment de musique extrait du Requiem de Mozart (de 3 s !) a été plus ou

moins comprimé selon ce procédé et jeté en pâture aux expérimentateurs selon une procédure très rigoureuse (puisque'on vous le dit !). avec un matériel d'écoute non précisé (mais qui ne devait pas poser de problème à l'auteur). Les bons résultats de ces tests ont été confirmés par d'autres tests dont certains faits avec des auditeurs professionnels de la division des produits grand public.

Enfin, nous explique-t-il, pour convaincre le public de l'excellence du produit qui permet de conserver la qualité des compact-discs avec un débit d'information moindre, il peut y avoir un problème puisque les performances chiffrées sont moins bonnes. Il est en effet gênant, après avoir vendu le CD en mettant en avant ses performances de dynamique et de distorsion, de venir expliquer ensuite que, ... tout compte fait, ... à cause de l'effet de masque, ... en réfléchissant un peu, ... ou même en réfléchissant bien, ... ce n'est pas si important que ça ! Les gens n'aiment pas trop qu'on les prenne pour des consommateurs ! « *the best thing to do is to keep pointing at the greatest reliability of psychoacoustical measures compared with physical measures.* » (bien sûr ! c'est évident !)

La conclusion est à la hauteur de l'article : à propos de ces études qui combinent mathématiques, électronique et psychoacoustique. « *because they are solidly based on fundamental knowledge of the functioning of our hearing system, they provide a reliable source of information for rational decisions when...* » Il n'y a vraiment rien à ajouter !

A propos de compression de données audio, signalons que Sony envisage d'utiliser un procédé du même type nommé ATRAC pour ses mini-compact-discs. Mais, selon certains échos, Sony reconnaîtrait une certaine dégradation du son. Cela ne m'étonne pas, j'ai vu au Japon

qu'on prenait la peine d'écouter sérieusement les produits qu'on proposait au public. Il aurait fallu en informer Mme Cresson.

Il y a certainement des possibilités pour réduire le débit des informations numériques audio sans perte d'informations — la cohérence entre données, déjà utilisée pour interpoler les données perdues, correspond à une surinformation — ou avec élimination des informations non perçues par les oreilles — l'analyse de la stationnarité du signal (comme en compression de signaux TV) pourrait se révéler intéressante —, mais leur définition et leur réalisation passe par une étude plus fouillée. Quant à MUSICAM, il permettra sans doute d'améliorer le son des cassettes et permettra peut-être à M. Toutlemonde de croire qu'il obtient, avec ses cassettes et sur sa chaîne moyenne, le son du CD, mais je crains que ce procédé ne convainque pas totalement ces empêcheurs de fourbiriser en rond que sont les audiophiles.

Analyse fourieriste du problème des filtres d'enceintes

Un autre exemple d'utilisation de Fourier et des mathématiques (exemple plus proche de notre problème initial) nous est fourni par S.K. Pramanik dans le *Wirelessworld* de novembre 1975 sous le titre « Crossover networks and phase response. A problem solved in loudspeaker design ». Dans cet article, l'auteur, qui travaille chez Bang & Olufsen, nous explique comment il faut faire les filtres idéaux ; sans vouloir entrer dans le débat sur l'audibilité de la phase, il définit comme objectif la reproduction de la forme de l'onde reçue par le microphone. Partant du principe que l'air fait la somme des signaux issus des filtres, il analyse mathématiquement

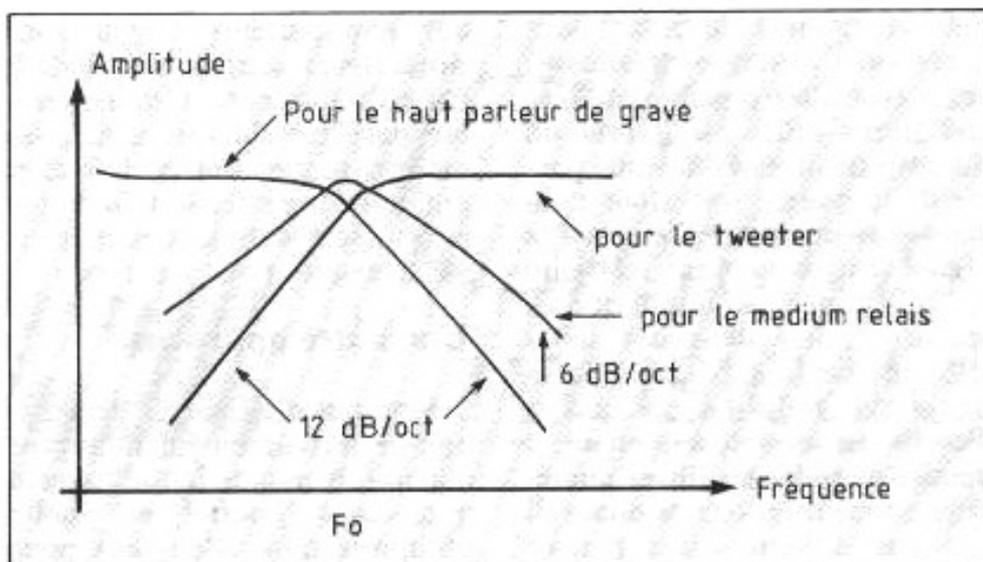


Fig. 7 : Filtres avec haut-parleur relais.

(dans une configuration à deux voies) ce que donne la somme des signaux en sortie des filtres pour différents types de filtres.

Pour les filtres du premier ordre, la somme est satisfaisante mais la pente d'atténuation obtenue est trop faible et ce type de filtre doit être réservé aux applications bas de gamme. Pour les filtres du second ordre, les deux signaux sont en opposition de phase à la fréquence de coupure, ce qui donne une somme nulle. Pour éviter ce phénomène, la

plupart des concepteurs retourne la phase d'un des deux haut-parleurs. Le résultat est une amplitude de la somme plus élevée à la fréquence de coupure et une phase qui continue à varier. Pour les filtres du troisième ordre, la somme est parfaite en amplitude, mais la phase tourne de 360° autour de la fréquence de coupure.

La solution qu'il propose est d'ajouter le terme mathématique manquant à son équation. Pour cela deux possibilités existent :

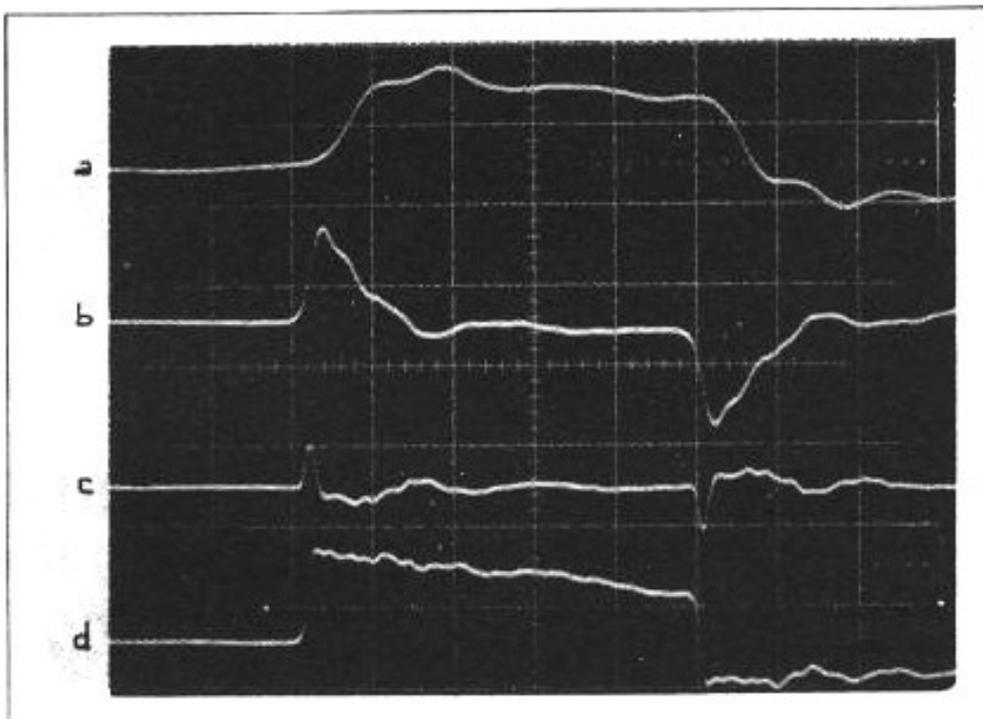


Fig. 8 : Décomposition de l'impulsion par les filtres : a) réponse du boomer ; b) réponse du médium ; c) réponse du tweeter ; d) réponse de l'enceinte.

soit compliquer le filtre pour incorporer le terme manquant, mais cela n'est possible qu'avec des filtres actifs car il faut un surcroît de niveau dans une partie de la bande, soit ajouter un haut-parleur chargé d'émettre le signal manquant (voir la figure n° 7). Il conclut en disant que les mesures faites dans des salles d'écoute ne sont pas valables à cause des réflexions et que si l'oreille est sensible à la phase, il faudra attendre les filtres numériques sans rotations de phase (il n'a pas dû être assez patient puisque B & O a utilisé le principe du haut-parleur relais pour une enceinte 2 (+1) voies).

Ce raisonnement peut sembler rigoureux, mais il est complètement déconnecté de la réalité. Il est basé sur des hypothèses d'audibilité de la phase très controversées et surtout il ne se soucie pas de la manière dont les haut-parleurs émettent les signaux issus des filtres : quelle est la réponse en phase et amplitude des haut-parleurs ? Comment les signaux s'additionnent-ils ? Quelles sont les positions

des haut-parleurs ? Où sont situés leurs centres de phase ? Où est l'auditeur ? Cela ne semble pas être son problème, les mathématiciens ont parlé : elles ont défini la perfection théorique et les spécifications des moyens électroniques pour y parvenir.

Une autre approche

Mon but n'est pas de démoraliser le lecteur en lui montrant que tout le monde fait n'importe quoi avec Fourier et public n'importe quoi. J'en veux pour preuve une étude parue en 1978 dans une obscure revue distribuée alors confidentiellement. Dans les nos 5 et 6 de *L'Audioophile*, Gilles Milot nous montre qu'on peut utiliser Fourier intelligemment.

Il utilise bien Fourier pour définir les fonctions de transfert de chaque ensemble filtre-haut-parleur, ainsi que pour analyser le comportement de ses haut-parleurs. Mais, en ce qui concerne son enceinte, le critère de qualité qu'il a retenu est une impulsion de 1 ms (voir la figure

n° 8) Le résultat est assez impressionnant. Il montre une bonne association en phase des haut-parleurs. Cette performance n'est pas gratuite, elle ne résulte pas d'élucubrations abstraites, mais de tests subjectifs faits par l'auteur.

Conclusion

Nous ne brûlerons dans doute pas Fourier, mais vous avez sans doute compris que, si pour caractériser et pour mesurer les filtres nous utiliserons bien Fourier, pour analyser les problèmes et définir des spécifications pour les filtres, la sinusoïde est pros-crite. Nous comptons utiliser les tests subjectifs avec une méthodologie que nous chercherons à rendre la plus rigoureuse possible, pour examiner dans un premier temps les points suivants :
— effet des rotations de phase ;
— effet des émissions simultanées (en phase ou avec rotation de phase) ;
— masquage d'un haut-parleur par un autre.

A suivre donc...

**Page non
disponible**

THEORIES

LES HAUT-PARLEURS IONIQUES

Alain Deraedt

Les premières réalisations remontent à 1925 (Brevet de la Société « Le Matériel Téléphonique), puis vers les années 1955, on voit apparaître d'autres réalisations, le plus souvent expérimentales : l'ionophone de S. Klein (1954) le « Corona Wind Loudspeaker » de G. Shirley (USA, 1956), la triode ionique de M.N. Halus et S.W. Holcomb (USA, 1957). Il a fallu attendre les années 1960 pour voir apparaître les premières réalisations commerciales : l'ionovac, puis le tweeter Realon, aux USA, enfin le tweeter ionique de la firme allemande Magnat, aboutissement des travaux de S. Klein ; vers les années 1980, sont apparues en France, sous l'impulsion d'Henri Bondar et de J.C. Fourrière, des réalisations commerciales basées sur le principe du « Corona Wind Loudspeaker » de G. Shirley, et appelées improprement haut-parleurs à plasma froid ; d'abord un casque fabriqué par Audio-Référence, et enfin une enceinte, du nom de Toltèque, par la Société AHL, à Alès. Ce n'est qu'en 1991 qu'une étude théorique complète des transducteurs à effet Corona a été réalisée par l'auteur de cet article, qui a présenté une communication sur ce sujet le 20 février 1991, lors de la 90^e Convention de l'Audio Engineering Society, à Paris, avec démonstration d'une maquette de laboratoire, réalisée par Pascal Freulon.

I - Transducteurs à plasma chaud et à plasma froid.

Ces deux types de transducteurs ont des modes de fonctionnement très différents : dans le cas du plasma chaud, une pointe d'un alliage métallique approprié est située à l'intérieur d'une sphère métallique grillagée de quelques centimètres de diamètre

(tweeter ionique S. Klein et Magnat) ; on applique à ces deux électrodes une haute tension alternative haute-fréquence (20 kV, 27 MHz) ; sous l'effet du champ électrique ainsi créé, au voisinage de la pointe, apparaissent des ions positifs par arrachement d'électrons aux atomes neutres de gaz constituant l'air ; il se forme ainsi une zone de plasma (mélange de molécules

neutres, d'ions positifs et d'électrons, globalement électriquement neutre), ayant l'aspect d'une flamme ; sous l'action du champ électrique alternatif, les ions positifs entrent en vibration, provoquant un échauffement important localisé, par agitation thermique due aux collisions ions positifs - molécules neutres et, par là-même, une dilatation de l'air ; en modulant

en amplitude par un signal audio la tension H.F., on provoque des variations de température au sein du plasma, et, donc des variations de pression, d'où création d'ondes sonores. De par son incapacité à provoquer de grandes elongations, ce système est dédié à la production des fréquences élevées et ultrasonores ; il constitue une source acoustique omnidirectionnelle monopolaire ; d'après S. Klein (voir [6]), de telles sources peuvent émettre des ultrasons d'une intensité allant jusqu'à 150 dB et 3 MHz ; d'un intérêt scientifique indéniable, ce système, par son manque de linéarité et d'aptitude à reproduire les fréquences basses et moyennes, est peu adapté à la reproduction musicale. Dans le domaine du plasma chaud, citons encore les expériences menées il y a quelques années par Mitsubishi sur des transducteurs utilisant des arcs électriques en courant continu de grande intensité (plusieurs centaines d'ampères), et basés sur le principe de la soudure à l'arc ; le fonctionnement s'effectue par modulation de l'intensité du courant de l'arc ; l'usure très rapide des électrodes et l'obligation d'utiliser de l'argon a interdit tout développement commercial de ce système.

Nous en arrivons maintenant aux transducteurs « à plasma froid », qui feront en fait l'objet de cet article ; l'appellation « plasma froid » est impropre, car, par définition, un plasma est un milieu ionisé, globalement électriquement neutre, ce qui n'est pas le cas dans ce type de transducteur ; nous lui préférons le vocable de transducteur à décharge couronne (T.D.C. en abrégé) ; leur principe repose sur le phénomène bien connu sous le nom de « pouvoir des pointes » : on applique une haute-tension, continue cette fois, entre une série de pointes et une contre-électrode grillagée : les ions créés au voisinage des

pointes, accélérés par le champ électrique, entrent en collision avec les molécules d'air, leur transmettant leur quantité de mouvement : ces ions exercent donc sur l'air une pression continue, provoquant un flux d'air connu sous le nom de vent ionique ; en modulant l'intensité du courant ionique, on obtient des variations de pression à l'origine d'ondes sonores ; l'effet des ions sur l'air est dans ce cas mécanique, et non plus thermique ; tout se passe comme si l'on avait une membrane ionique, se renouvelant en permanence ; ces transducteurs, tout comme leurs cousins à membrane mécanique, constituent donc une source acoustique dipolaire (c'est-à-dire avec une onde arrière en opposition de phase avec l'onde avant) ; de par leur principe même, ces transducteurs peuvent reproduire les fréquences basses, allant même jusqu'à la fréquence nulle (pression continue).

II - Décharge électrique couronne dans l'air.

1. Généralités

Une décharge électrique dans un gaz est le passage d'un courant électrique dans ce gaz, utilisant comme support des espèces chargées, qui peuvent être soit des ions (positifs ou négatifs), soit des électrons, soit un mélange des deux ; les décharges électriques dans les gaz à haute pression (comme l'air à la pression atmosphérique) sont en général instables (étincelles, arcs, etc.) ; il existe néanmoins une catégorie bien particulière de décharges stables ; il s'agit de la décharge couronne, qui apparaît lorsqu'un champ électrique très inhomogène est créé dans l'espace, par exemple à l'aide d'une paire d'électrodes, l'une étant très pointue (elle est alors appelée électrode sous contrainte), et l'autre très peu cour-

bée ; le dispositif typique étant une pointe face à une électrode plane (fig. 1) ; la décharge couronne est dite positive si l'électrode sous contrainte est polarisée positivement par rapport à l'autre, négative dans le cas contraire.

Si le champ électrique au voisinage de la pointe est suffisant (>25 kV/cm), il se crée un phénomène d'ionisation, par arrachement d'un électron à un atome de gaz sous l'action d'une particule-germe (qui peut être, dans le cas d'une décharge négative, un électron émis spontanément par une micro-aspérité sur la surface de la pointe) ; cet électron arraché va être accéléré par le champ électrique intense régnant près de la pointe, et va frapper un atome, lui arrachant un second électron ; ces électrons, accélérés, vont frapper d'autres atomes, leur arrachant d'autres électrons et ainsi de suite, ce phénomène de multiplication des électrons est connu sous le nom d'avalanche électronique, cette avalanche se rapproche de l'électrode sous contrainte si la décharge est positive, s'en éloigne si elle est négative.

a) cas de la décharge négative : en s'éloignant de la pointe, les électrons issus de l'avalanche rencontreront un champ électrique de plus en plus faible, et, à une certaine distance de la pointe, ne seront plus suffisamment accélérés pour arracher d'autres électrons en cas de choc avec des atomes ; si l'un de ces électrons rencontre un atome de gaz dit électronégatif (comme l'oxygène) il s'attache alors à l'un des deux atomes constituant la molécule d'oxygène, formant ainsi un ion négatif ; cet ion, accéléré par le champ électrique, s'éloignera de la pointe, et entrera en collision avec des molécules neutres, lui cédant sa quantité de mouvement, et une partie de son énergie cinétique ; durant tout leur trajet dans la zone de dérive (fig. 1), les ions

négatifs céderont, de chocs en chocs, la totalité de leur quantité de mouvement à l'air ambiant, et ce jusqu'à la contre-électrode à laquelle ils céderont leur électron de rencontre ; quant aux ions positifs créés près de la pointe par arrachement d'un électron, ils se dépêcheront d'aller en récupérer un autre auprès de cette dernière.

b) cas de la décharge positive : dans le cas, c'est la pointe qui est positive (anode) et la contre-électrode négative (cathode) ; l'avalanche électronique, en se rapprochant de la pointe, engendre une langue de plasma très conductrice (appelée dard ou streamer), prolongeant la pointe-anode ; côté cathode, le champ électrique engendré par ce dard est très intense (jusqu'à dix fois le champ de claquage), créant ainsi d'autres avalanches électroniques allongeant ce dard vers la cathode ; il se forme ainsi une onde d'ionisation se propageant vers la cathode à une vitesse pouvant atteindre $5 \cdot 10^5$ m/s ; ces dards, qui prennent l'aspect d'une aigrette lumineuse entourant la pointe, se coupent généralement côté anode avant d'avoir atteint la cathode ; si ce n'est pas le cas, il se forme alors entre les électrodes un canal ionisé très conducteur, appelé leader, et provoquant une brusque augmentation du courant de décharge, pouvant éventuellement provoquer un arc.

2. Etude du courant d'une décharge couronne

a) Relation tension-courant

L'intensité moyenne du courant d'une décharge couronne est une fonction approximativement quadratique de la tension E entre électrodes, c'est-à-dire est de la forme : $I = \lambda (E - E_0)^2$, où λ est un paramètre dépendant étroitement de la géométrie du système d'électrodes, et E_0 la tension de seuil d'ionisation (si

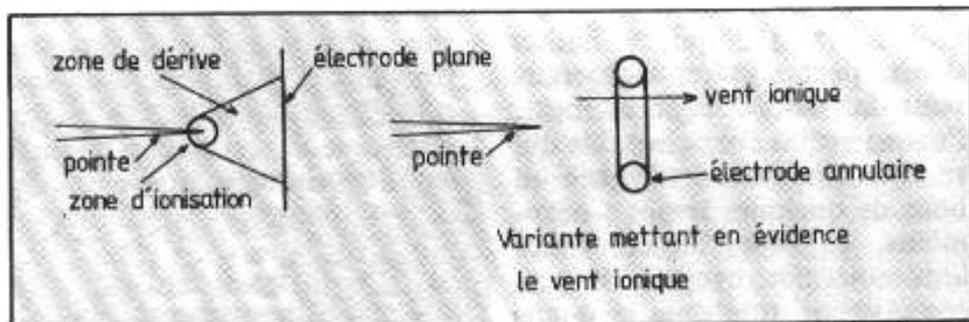


Fig. 1 : Dispositif pour créer une décharge couronne.

$E < E_0$, alors $I = 0$, E étant inférieure à la tension de seuil E_0), et ce, que la décharge soit positive ou négative (fig. 3).

b) cas d'une décharge positive : on distingue trois régimes différents (fig 2 et 4) :

— $E_0 < E < E_1$: la valeur de I est fluctuante ; elle est la superposition d'une composante continue, de séries d'impulsions (burst pulses), et d'impulsions de plus grandes amplitudes (pre-onset streamers).

— $E_1 < E < E_2$: la décharge est parfaitement stable : on l'appelle zone de glow d'Hermstein

— $E_2 < E < E_c$: dans cette région, qui précède le claquage, I est la somme d'une composante continue, et d'impulsion de grandes amplitudes (pre-breakdown streamers), régulièrement espacées, dont la fréquence est de quelques kHz : cette zone de décharge est particulièrement bruyante (tout comme la première zone) ; en résumé, à part la zone d'Hermstein, qui est difficile d'accès, la décharge couronne positive est très bruyante, et ne convient donc pas pour une application audio.

c) cas d'une décharge négative : juste après avoir dépassé la tension de seuil E_0 , on atteint une zone de stabilité : on constate que le courant de décharge est la superposition d'une composante continue, et d'impulsions en dents de scie (Trichel pulses), très régulières, tant en amplitude qu'en fréquence ; cette dernière est proportionnelle à l'intensité moyenne du courant de dé-

charge, et varie de quelques centaines de kHz pour les faibles valeurs de I (5 à $6 \mu\text{A}$) pour atteindre plusieurs MHz vers $100 \mu\text{A}$ (fig. 5) ; leur amplitude, qui peut atteindre 1 mA en environ 3 nanosecondes, décroît quand I augmente, et ces impulsions se fondent les unes dans les autres aux alentours de $100 \mu\text{A}$: il ne reste plus alors qu'un trait continu sur l'écran de l'oscilloscope. Les premières composantes spectrales de ces impulsions de Trichel se situant loin au-delà de la bande audio, la décharge négative convient parfaitement pour cette dernière application ; le mécanisme de formation de ces impulsions de Trichel, dûes à des phénomènes de relaxation, ne sera pas expliqué ici.

3. Aspects énergétiques et mécaniques de la décharge couronne.

D'après R.S. Sigmond (voir [2]), la totalité de l'énergie d'une décharge couronne est transférée à l'air ambiant, lors des chocs ions-molécules neutres ; malheureusement, la plupart de ces chocs sont inélastiques (c'est-à-dire qu'il n'y a pas conservation, au cours du choc, de l'énergie cinétique), et donc seule une faible partie de l'énergie cinétique des ions est transmise à l'air ; la plus grande partie de l'énergie de la décharge est donc utilisée à l'excitation d'atomes qui, en se désexcitant, émettent des photons, où à briser des molécules d'oxygène, ce qui est à l'origine

de la formation d'ozone (formule : O_3), gaz qui, à hautes doses, peut s'avérer dangereux pour la santé ; heureusement, l'ozone est un corps instable qui se redécompose en oxygène au bout de quelques temps ; néanmoins, au cours de ces chocs ions-molécules neutres, il y a conservation totale de la quantité de mouvement, dont la dérivée par rapport au temps est une force ; donc, la densité volumique \vec{f} de force à laquelle est soumis l'air ambiant à cause des

chocs des ions est égale à la densité volumique des forces électrostatiques auxquelles sont soumis les ions de part leur charge électrique et le champ régnant entre les électrodes, soit :

$$\vec{f} = \rho \vec{E} \quad (1)$$

où : \vec{f} est la densité volumique de force, ρ la densité volumique de charge électrique dû à la présence de particules chargées (ions) dans l'air, et \vec{E} le champ électrique.

Or, les ions sont accélérés

entre deux chocs, puis s'arrêtent lors d'un choc, puis sont accélérés de nouveau, etc. ; le libre parcours moyen d'un ion (distance moyenne parcourue par un ion entre deux chocs) étant très faible par rapport à la distance totale qu'ils parcourent, on peut parler de vitesse moyenne d'un ion ; or, il se trouve que cette vitesse moyenne \vec{v} est proportionnelle au champ électrique E : $\vec{v} = \mu \vec{E}$ (2), et que le facteur de proportionnalité μ , appelé mobilité des ions, est à peu près constant pour l'air faiblement ionisé (ce qui sera le cas) à température ambiante et à la pression atmosphérique, et sa valeur mesurée est d'environ $2.10^{-4} \text{ m}^2/\text{V.s}$ aussi bien pour les ions négatifs que positifs.

Les formules (1) et (2) nous donnent donc :

$$\vec{f} = \rho \vec{v} / \mu = \vec{J} / \mu$$

(où \vec{J} est le vecteur courant exprimé en A/m^2) (3).

Autrement dit, la force exercée par les ions sur l'air est proportionnelle au courant de décharge : ce fait est particulièrement important, car il confère aux T.D.C. une très grande linéarité (et donc une faible THD) même à niveau élevé.

Notons pour terminer ce chapitre que les effets thermiques d'une décharge couronne sont très réduits, et donc que l'échauffement de l'air est faible.

à suivre...

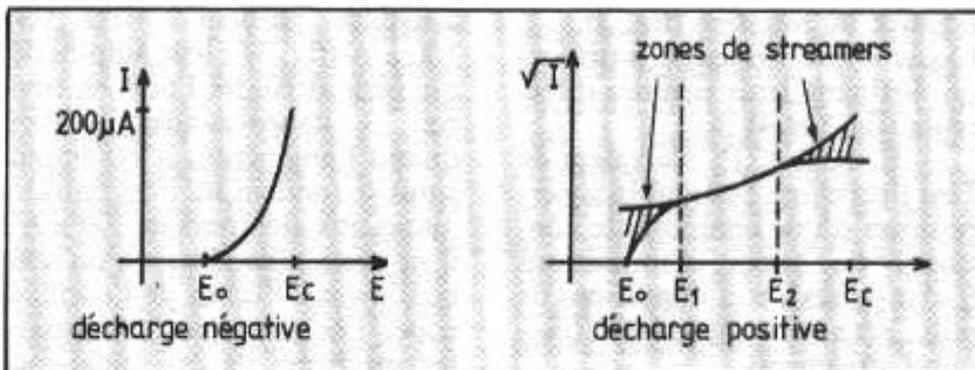


Fig. 2 : Relation tension-courant d'une décharge couronne.

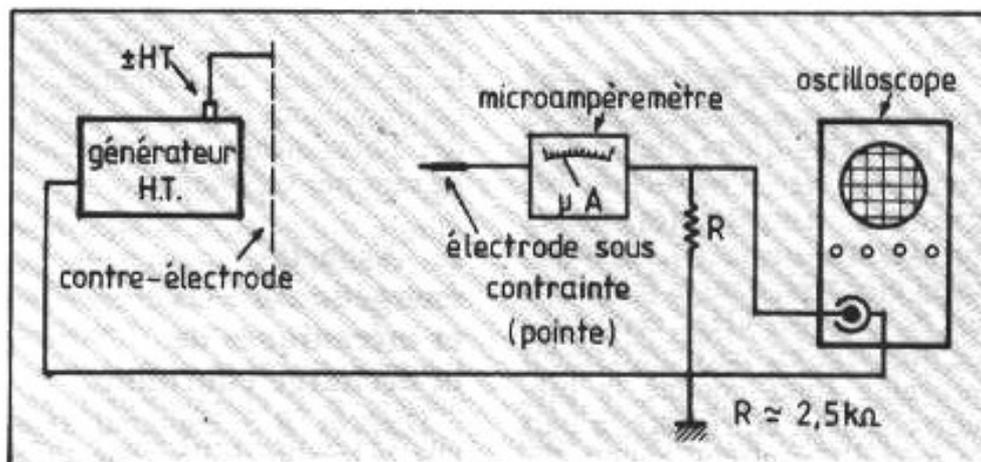


Fig. 3 : Montage pour examen du courant d'une décharge couronne.

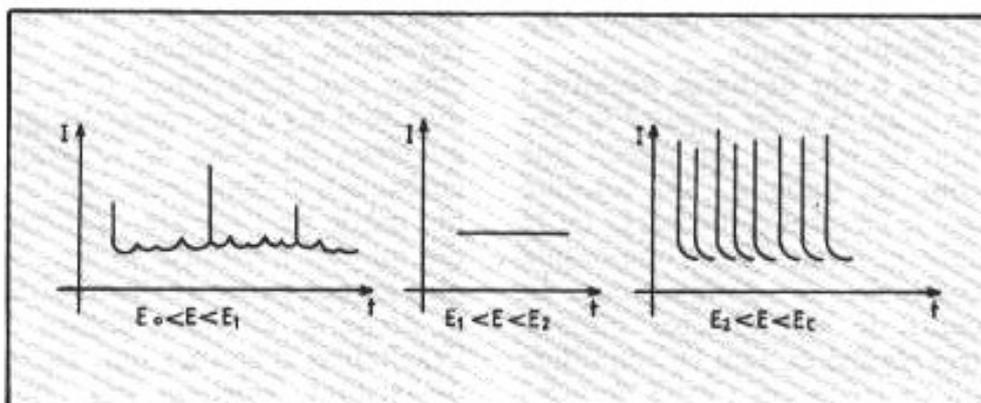


Fig. 4 : Aspect du courant-décharge couronne positive.

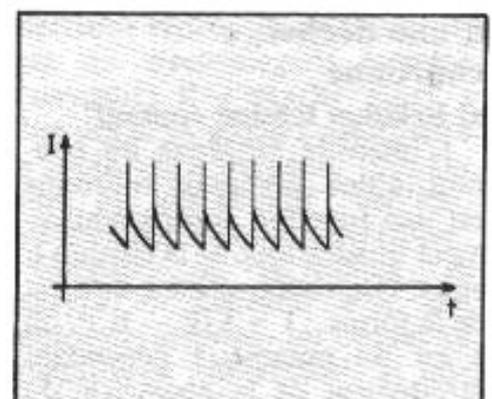


Fig. 5 : Décharge couronne négative.

POINT DE VUE

ANALOGIQUE OU NUMERIQUE? L'habit ne fait pas le moine...

Florian et Maxime Louineau

L

'audio numérique, sans doute la plus silencieuse révolution de la dernière décennie, a connu un essor sans précédent au niveau du grand public comme des professionnels. La nouvelle bande magnétique 3M 996 destinée à l'enregistrement analogique autorise, d'après son fabricant, des performances proches de celles possibles en enregistrement numérique. Moribond pour certains, irremplaçable pour d'autres, l'enregistrement analogique a-t-il encore de beaux jours devant lui ? Voici de quoi jeter une belle pomme de discorde entre les partisans du numérique et ceux de l'analogique.

En usage domestique, les qualités du compact-disc, donc de l'audio numérique ne sont plus à démontrer. Et, si l'on rencontre encore quelques rares irréductibles qui refusent obstinément de se convertir, cela nous prouve une chose : les habitudes (bonnes ou mauvaises) sont difficiles à perdre. A l'inverse, dans le milieu des professionnels de l'enregistrement, on ne peut s'empêcher de se poser des questions : l'analogique a beaucoup évolué à sa manière c'est à dire en douceur, l'audio numérique aussi, mais de manière fulgurante et à ceci près que personne ne peut dire avec certitude où nous

mène l'évolution de la technologie dans ce domaine. Aussi la coexistence de ces deux technologies, fondamentalement différentes mais à la finalité identique, nous incite-t-elle à faire un "tour d'horizon" sur l'enregistrement magnétique de nos jours.

L'enregistrement magnétique analogique.

A tout seigneur tout honneur, fruit de longues et laborieuses années d'évolution, cette technologie arrive aujourd'hui à son apogée. Actuelle-

ment, il ne reste guère que le signal qui soit analogique dans les machines de haut de gamme. Devant la diversité des formats existants (voir tableau 1 formats de bandes et nombre de pistes NF 97140-2) le meilleur moyen de se faire une idée des progrès accomplis est d'examiner un magnétophone analogique et ses particularités en se limitant au format 6.30 mm aux différentes vitesses.

Le Nagra T Audio.

C'est une très belle machine (voir photo 1) fabriquée par un construc-

Largeur de la bande		Épaisseur de la bande		Nombre de pistes usuel	
0	0	0,055mm max (0,0022 in max)		16 -24	
50,80-0,06mm (2,000-0,0024 in)	0			8-16	
0	0			2-4	
25,40-0,06mm (1,000-0,0024 in)	0			2-2 + Time code	
0	0				
12,70-0,06mm (0,500-0,0024 in)	0				
0	0				
6,30-0,06mm (0,248-0,0024 in)	0				
Usage	Conditionnement de la bande	Vitesses nominales		Tolérances sur la vitesse	Pleurage et scintillement
		cm/s	in/s		
Professionnel	En bobine	76,2	30	±0,2%	≤0,1 %
		38,1	15	±0,2%	≤0,1 %
		19,05	7½	±0,2%	≤0,15 %

Tableau 1 : Formats de bande et nombre de pistes

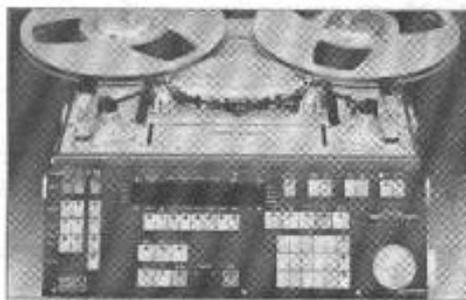


Photo 1

teur suisse dont la réputation n'est plus à faire. Ce magnétophone est transportable et l'élégance des solutions mécaniques et électroniques retenues pour lui conférer ses performances méritent notre attention. Cet appareil illustre bien le "high end" atteint par les constructeurs en matière d'enregistrement analogique.

Le transport de bande du Nagra T Audio.

La photo 2 montre la platine vue de dessus; on peut voir que les moteurs des bobines possèdent chacun leur propre galet à tension de bande (fait matérialisé par les deux grandes flèches blanches photo 2). Ceci assure une tension de bande constante lors des phases d'accélération ou de décélération tout en évitant la propagation des vibrations en provenance des bobines à la portion de bande comprise entre les deux cabestans. Sur le même cliché, on

peut voir ces deux cabestans placés de part et d'autre du bloc de tête; ils possèdent tous deux leur propre moteur stabilisé électroniquement en vitesse. Celui de gauche est asservi à un capteur de tension de bande placé entre les têtes (ce contrôle est matérialisé par la flèche blanche courte sur le cliché précédent). Le

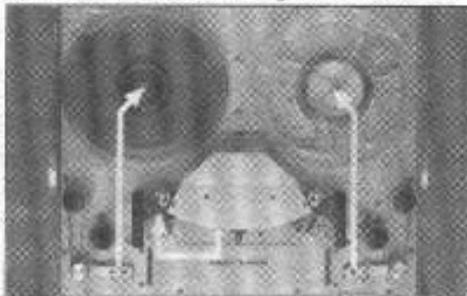


Photo 2

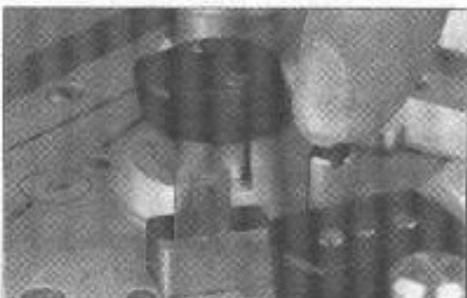


Photo 3

contrôle manuel de l'asservissement du cabestan droit permet d'effectuer en douceur des opérations de montage ou d'édition (JOG, SCHUTTLE).

L'avantage majeur d'un tel transport de bande est d'isoler entièrement

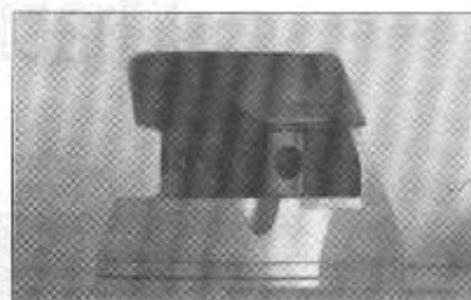


Photo 4

de toutes perturbations la portion de bande devant les têtes. Ainsi un scotch de montage mal positionné ne peut plus induire un changement de la vitesse de défilement de la bande au niveau des têtes magnétiques. Les taux de pleurage et de scintillement sont extrêmement bas (voir données constructeur). Les synchroniseurs incorporés dans la logique d'asservissement ainsi que la faible inertie du transport de bande procurent une rapidité de synchronisation exceptionnelle. La communication avec le monde extérieur (des machines et des hommes) se fait par le biais d'une interface RS422 et autorise l'insertion de ce magnétophone dans une chaîne de production audio vidéo.

Les guides bandes rotatifs sont placés au plus près des noyaux de bobines pour permettre un fonctionnement sans faille dans le cas des bandes sur plateaux (photo 1). Des freins de secours mécaniques arrêtent en douceur les bobines dans le cas de coupure secteur pendant un bobina-

ge rapide. La photo 3 nous laisse voir la bande magnétique qui passe dans un petit ciseau vertical actionné par un bouton poussoir ; indépendamment des fonctions de montage manuelles on peut après avoir repéré un point de coupure à l'aide de la fonction JOG (qui permet de faire avancer ou reculer la bande proportionnellement à la vitesse de rotation imprimée à la roue de commande du panneau de contrôle) utiliser la fonction CUT qui aura pour effet de faire avancer la bande du point de repérage (aplomb de la tête de lecture) jusqu'aux ciseaux. Il ne reste plus qu'à couper : le montage est devenu convivial et le crayon gras inutile. Le compteur de bande a hérité au passage de ce souci du détail, le capteur optique est construit à l'intérieur du galet rotatif qui lui, voit sa surface

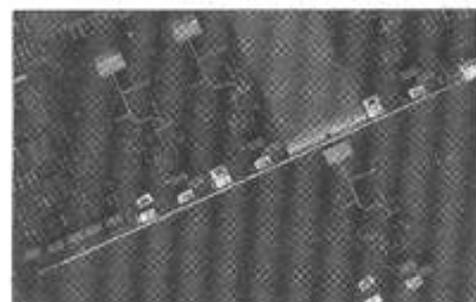


Photo 5

utile usinée spécialement (photo 4), la bande reste ainsi plaquée contre sa surface de roulement pendant toute les opérations de transport. On peut ainsi attendre de ce compteur une précision meilleure que 0.1 % lors d'un retour au zéro.

Section audio

Cet enregistreur utilise des amplificateurs d'enregistrement à large bande passante, la particularité étant la présence de circuits de prédistorsion enfichables (photo 5). Leur rôle est d'introduire dans le signal d'enregistrement une distorsion qui est exactement l'inverse de celle de la bande. Quatre de ces circuits peuvent être présents, ce qui fait quatre calibrations de bandes magnétiques disponibles, la sélection se faisant depuis le panneau de contrôle. Ceci permet d'augmenter le niveau d'enregistrement sans entraîner l'augmentation de la distorsion ou d'enregistrer aux

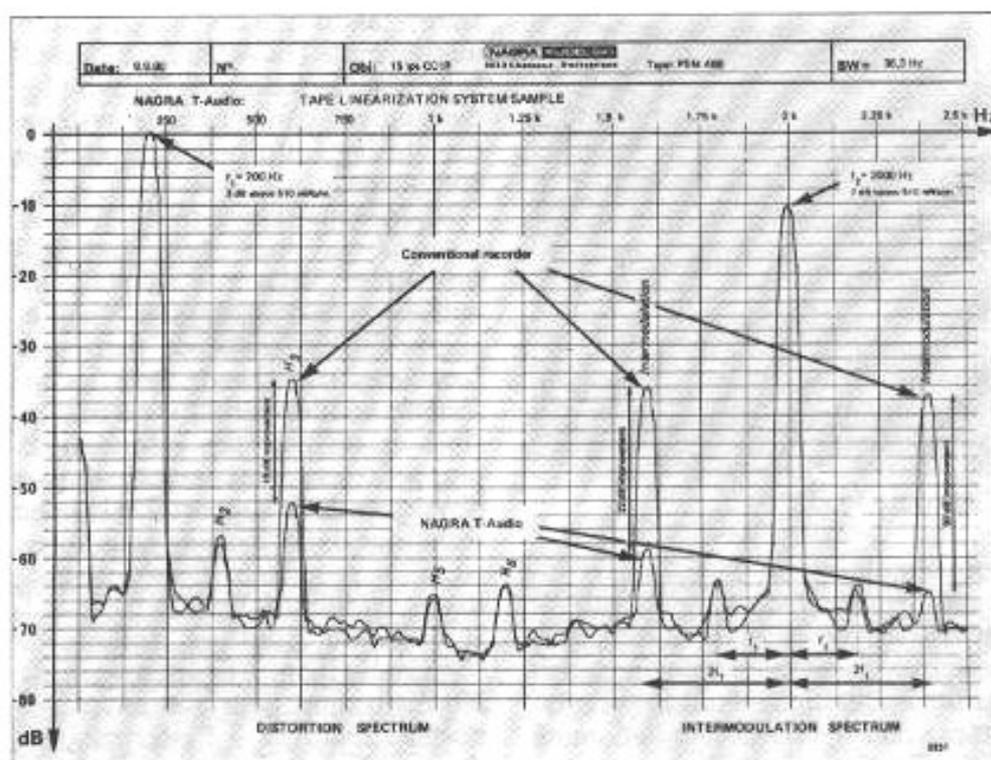


Figure 1

niveaux standard avec une distorsion moins élevée. (voir courbes).

Les têtes magnétiques en verre et métal amorphe sont à l'image du reste et garantissent une durée d'utilisation élevée (d'environ 4000 heures). Un autre constructeur de renom, STUDER, propose sur ses machines l'automatisation des procédures d'alignement (incluant les systèmes de réduction de bruit) ce qui facilite les opérations de maintenance (ex : STUDER A 807).

La courbe (figure 1) montre l'apport des circuits de prédistorsion du Nagra T Audio.

Caractéristiques du Nagra T Audio :

- Pleurage et scintillement à 38.1 cm/s 0,022 %
- Précision de la vitesse : 0,07 %
- Réponse en fréquence à 38.1 cm/s
- Bande test BASF LGR 50 (CCIR) 30 Hz-20Hz \pm 1 dB
- Rapport signal bruit et distorsion avec circuits de prédistorsion.
- Vitesse 38.1 cm/s, flux de référence 510nWb/m+6 dB =1020 nWb/m, bande BASF LGR 50, norme CCIR.

S/B : 76 dB H2 : 0,3 % H3 : 0,7 %

Toutes ces performances parlent d'elles-mêmes et devraient faire

oublier certains à priori fréquemment entendus sur l'enregistrement analogique.

3M 996: L'analogique fait-il bande à part ?

Il est difficile de parler des progrès de l'enregistrement magnétique sans évoquer un des piliers de cette technique, le support. Ce mince ruban conditionne en fait toute la qualité d'un enregistrement : sa dynamique, sa finesse et sa conservation dans le temps. C'est sur lui que repose tout le respect des maillons précédents, aussi la sortie (à grand bruit) d'un "consommable" aux performances accrues destiné à "nourrir" les magnétophones analogiques nous a donné envie d'en savoir plus. Avec cette nouvelle bande magnétique, la 996 (photo 6), 3 M redonne un souffle nouveau aux magnétophones analogiques. Ses points forts sont : un niveau de travail possible de + 9dB (flux de référence 520nw/n), un niveau d'empreinte magnétique réduit pour un rapport signal/empreinte supérieur de 3dB aux bandes concurrentes et enfin le rapport signal bruit de cette bande magnétique est de 79.5dB. Un mas-



Tape Care™ (3M)

ter mémorable sur un support d'exception ne mérite-t-il pas mieux qu'une simple boîte de carton? 3M, soucieux du problème de l'archivage des bandes magnétiques enregistrées a conçu un container dénommé Tape Care™ dont l'une des particularités est d'être réalisé en polyéthylène à haute densité moulé en parois doubles. Les formes du moulage préviennent de l'introduction de pous-

sières, tandis que le système de fermeture évite l'ouverture accidentelle pendant le transport. Il s'agit plus dans ce cas d'un véritable système d'archivage plutôt qu'un simple emballage.

M. Jonathan Lewis (3M UK) nous a confié que pour obtenir ces performances 3M a mis au point un nouveau type d'oxyde magnétique et augmenté la densité de particules "couchées" sur la bande. Pour des raisons de confidentialité il est impossible de diffuser des informations plus précises sur les caractéristiques physiques de ce support. De la fiche technique de cette bande nous avons isolé les propriétés électromagnétiques regroupées dans le tableau 2. Il faut au passage remercier l'Association Française de Normalisation pour son envoi des normes relatives à l'interprétation de ces données. La terminologie étant propice aux confusions, ces documents se sont avérés précieux.

Les termes (à droite du tableau) sujets à une procédure particulière

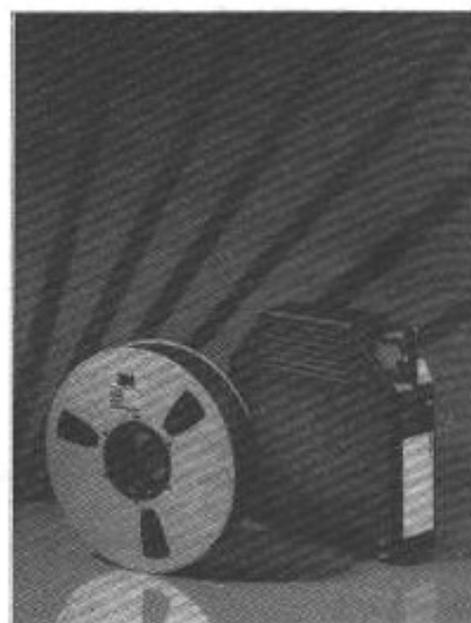


Photo 6

sont référencés et définis en encadré par rapport aux normes françaises. Un beau casse-tête mais publier la fiche technique sans quelques explications aurait auréolé de magie les performances annoncées par 3M ce

ELECTRO-MAGNETIC PROPERTIES

Recommended Bias Procedure

Sensitivity

1 kHz (S_{1kHz})

dB.....+ 2,0voir encadré 1

10 kHz (S_{10kHz})

dB.....+ 2,0

Maximum Output Level

1kHz (MO_{1kHz})

dB.....+ 14,0voir encadré 2

10 kHz (MO_{10kHz})

dB.....+ 9,5

Biased Noise Level Weighted (N_b)

dB.....-65,5voir encadré 3

Signal-to-Noise Ratio

Third Harmonic

Distortion Level (HDL_3)

dB.....79,5voir encadré 4

320 nWb/m

%(dB).....0,07(-63)

Print Through Level

Uniformity at 1kHz

Within a roll

dB.....-56,5voir encadré 5

Roll to roll

dB.....± 1/4

Test Conditions

Tape Speed

Reference Fluxivity

Reference Frequency

Reproduce Equalization

track Width

Record Head Gap Length

Bias Level Relative To IEC Reference Tape

(3M 206, MT82472)

dB.....± 1/2

ips (mm/s)15(381)

nWb/m320(IEC)

Hz.....1000

µsec35

mils(mm)100(2,54)

mils(µm)0.25(6,4)

dB.....+1,0

tableau 2

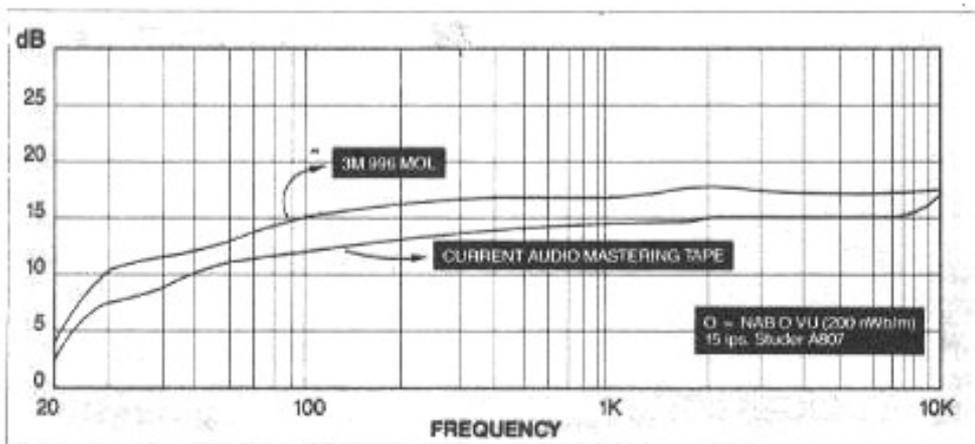


figure 2

qui n'est pas le cas.

La courbe figure 2 donne le niveau de sortie maximal en fonction de la fréquence (noter que le flux de référence est différent de celui correspondant aux mesures de la fiche technique).

La courbe figure 3 est fort instructive. On peut y lire :

- les niveaux de sorties maximaux,
- l'efficacité relative de la bande,
- la distorsion par harmonique d'ordre 3,
- le niveau d'empreinte magnétique,
- le rapport du niveau de référence au bruit de polarisation et tout ceci en fonction du niveau de sortie pour un flux de référence de 320nWb/m et selon le point de polarisation.

Voyons maintenant, à titre d'exemple, les performances relevées par Nagra France sur Nagra T Audio sans circuit de prédistorsion chargé avec la 3M 996.

- Flux de référence 510nW/m
- Vitesse 38.1 cm/s
- HDL3 : 1.7 %
- S/B : 79 dB pondéré

Il est important de signaler que le rapport S/B typique d'une machine identique équipée de DOLBY SR est de 90 à 95 dB.

On le voit, l'analogique (dans ses applications les plus évoluées) possède de sérieux atouts. Cependant les mesures ne sont pas toujours le reflet de la réalité aussi une petite discussion "analo-digitale" avec des professionnels de l'enregistrement s'imposait. Laissons donc M.Pierry (studios FERBER) nous donner son avis :

"En ce qui concerne la dualité digital/analogique je pense que tant que le digital gardera une fréquence d'échantillonnage de 44 ou 48 KHz, l'analogique aura son mot à dire. Beaucoup d'ingénieurs travaillent encore les voix par exemple en analogique, tout simplement parce qu'ils trouvent le son de ce type de machines pleinement satisfaisant. Quand à savoir si l'évolution des supports magnétiques va permettre d'obtenir des résultats égaux ou supérieurs à ceux du numérique, c'est une question assez subjective. Il faut bien voir une chose, pendant une époque, les gens ont été obsédés par le rapport signal/bruit, le souffle de la bande, toutes choses intimement liées à l'analogique. Et, dans un pre-

mier temps, on a trouvé comme solution le digital, qui est merveilleux, qui ne souffle pas etc...

Seulement, cette technologie possède ses propres défauts, que n'a pas l'analogique. On pourrait citer par exemple un certain "grain" dans les aigus, une reproduction du spectre sonore qui est une recombinaison qui semble beaucoup moins directe qu'en analogique. Et avec les progrès des bandes magnétiques en particulier la 996, on arrive alors à un tel rap-



photo 7

port signal/bruit en travaillant à 520nW/m que la comparaison avec le digital devient éloquent, ceci même sans réduction de bruit. On retrouve en fait toutes les qualités du son analogique, une certaine chaleur, un naturel que l'on n'a pas en digital. Ceci à cause de la technologie digitale mais aussi peut-être à cause des fréquences d'échantillonnage utilisées qui sont à mon avis trop basses. Si par exemple vous entrez un signal carré à 10 kHz dans 3324 ou un DTR 900, je peux vous assurer que ce qui sort du magnétophone ressemble plus à du sinus qu'à autre chose ! Ceci n'est pas rédhibitoire mais prouve simplement que le digital comme toute technique, est perfectible, et peut encore progresser tant aux mesures que subjectivement. En revanche, certains types de modulations tels que les instruments de synthèse passent très bien en digital. Digital qui par ailleurs, offre une souplesse d'utilisation hors pair. Pour en revenir à l'analogique et aux récents progrès dans la fabrication des bandes magnétiques, laissez moi vous raconter une manipulation que nous avons effectuée récemment. Nous avons pris une 456 vierge, nous l'avons coupée et avons monté

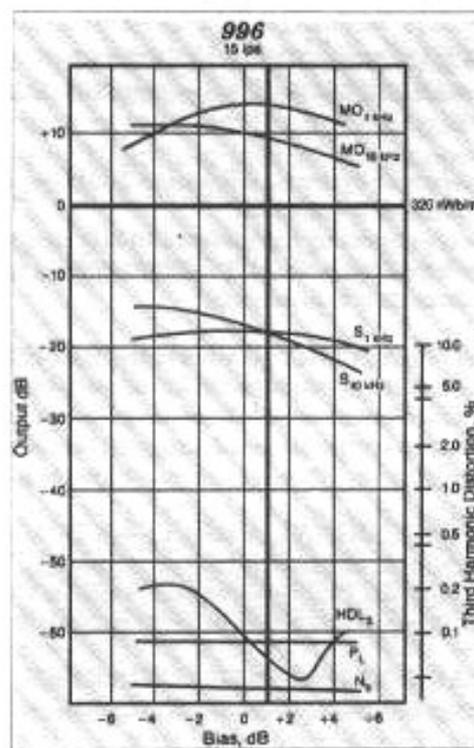


figure 3



photo 8

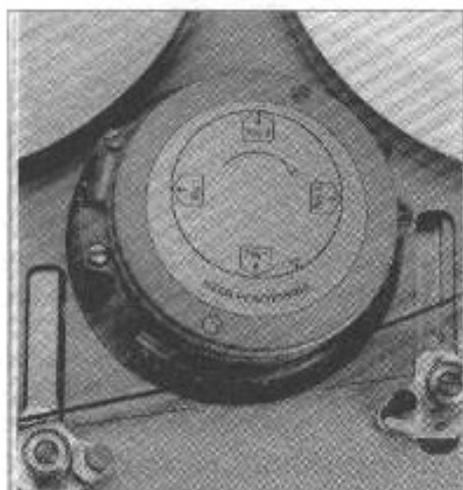


photo 9

derrière la 996 vierge. Nous avons ensuite fait tourner une rythmique dessus. Il ne s'agit bien sûr que d'un essai totalement subjectif mais je peux vous dire qu'à l'écoute on entend vraiment quelque chose. On a l'impression d'une espèce de clarté dans les sons, comme si le signal était plus finement analysé, c'est encore, à mon avis un pas au dessus de la 456. En revanche la dorsale semble moins rigide sur l'Ampex ce qui en fait une bande moins exigeante au niveau du transport. Je voudrais d'ailleurs souligner un autre point, sur un magnétophone analogique la maintenance et les réglages

sont primordiaux. C'est un des côtés assez traître si j'ose dire, de l'analogique. Quand la machine n'est pas parfaitement optimisée, il y a une perte de performances. Mais cette perte peut se faire de manière très progressive voire inaudible du moins au début ! c'est là que réside le côté merveilleux du numérique; ça marche ou ça ne marche pas. Cette facilité d'utilisation explique en grande partie le succès de l'audio numérique, au moins autant à mon avis que les résultats obtenus. A l'inverse, certaines techniques, telles que le direct to disk qui sont des solutions d'avenir voient leur essor sensiblement freiné à cause de leur abord parfois déroutant. Le problème n'est pas d'ordre technique, mais plutôt psychologique; l'aspect virtuel de tel systèmes, le fait de ne plus avoir de bande, en fait de ne plus avoir de contact physique avec le support, ceci demande un effort d'adaptation auxquels les gens ne sont peut-être pas préparés. D'autant que des questions de capacité de stockage et de transport des données se posent encore... Tout ceci m'amène à penser qu'en dehors de tout phénomène de

1 : SENSIVITY : EFFICACITE RELATIVE DE LA BANDE.

Définition (NF C 97140-3) : "Différence, exprimée en décibels, entre deux niveaux enregistrés d'un même signal, l'un sur un support magnétique donné, et l'autre sur un support magnétique de référence, par la même tête magnétique parcourue par le même courant audio-fréquence, le courant de polarisation ayant dans chaque cas une valeur appropriée".

2 : MAXIMUM OUTPUT LEVEL : NIVEAU DE SORTIE MAXIMAL.

Définition (NF 97140-3) : "Le niveau de sortie maximal d'une bande magnétique est la valeur du niveau enregistré pour lequel :

- a/ un pourcentage spécifié de distorsion se produit,
- b/ le matériau magnétique atteint la saturation.

Méthode A : Cette méthode utilisée pour les fréquences égales ou inférieure à 1 kHz consiste à mesurer le niveau de sortie pour lequel la bande magnétique produit 3 % de distorsion harmonique d'ordre trois.

Méthode B : La méthode utilisée pour les fréquences égales ou supérieures à 10 kHz consiste à mesurer le niveau de sortie lorsque le matériau magnétique atteint la saturation : on augmente progressivement la valeur du courant audio fréquence jusqu'à ce que la tension de sortie cesse de croître. On note la valeur correspondante du niveau de sortie".

3 : BIASED NOISE LEVEL, WEIGHTED : RAPPORT NIVEAU DE REFERENCE A BRUIT DE POLARISATION.

Définition (NF C 97140-3) : "Rapport du niveau de référence de la bande étalon appropriée au niveau de bruit dû à la polarisation. Le bruit de polarisation est le bruit résiduel de la bande après effacement de celle-ci par un champ magnétique à fréquence élevée à l'aide d'une tête d'effacement et après polarisation à l'aide d'une tête d'enregistrement. Le rapport du niveau de référence au niveau du bruit de polarisation est le rapport, exprimé en décibels, du niveau de référence de la bande étalon appropriée au niveau du bruit pondéré de la bande polarisée".

4 : SIGNAL TO NOISE RATIO : RAPPORT SIGNAL A BRUIT DE POLARISATION.

Définition (NF C 97140-3) : "Rapport du niveau de sortie maximal au bruit de polarisation. Le rapport signal à bruit de polarisation doit être calculé à partir des valeurs du niveau de sortie maximal à 1 kHz et du rapport niveau de référence à bruit de polarisation. Le rapport signal à bruit de polarisation est exprimé en décibels par le rapport du niveau de sortie maximal au niveau du bruit pondéré de la bande polarisée".

5 : PRINT THROUGH LEVEL : NIVEAU D'EMPREINTE MAGNETIQUE.

Définition (NF C 97140-3) : Rapport généralement exprimé en décibels, de la tension produite par un signal parasite dû à un effet d'écho, qui apparait lors de la lecture d'un enregistrement sur bande.

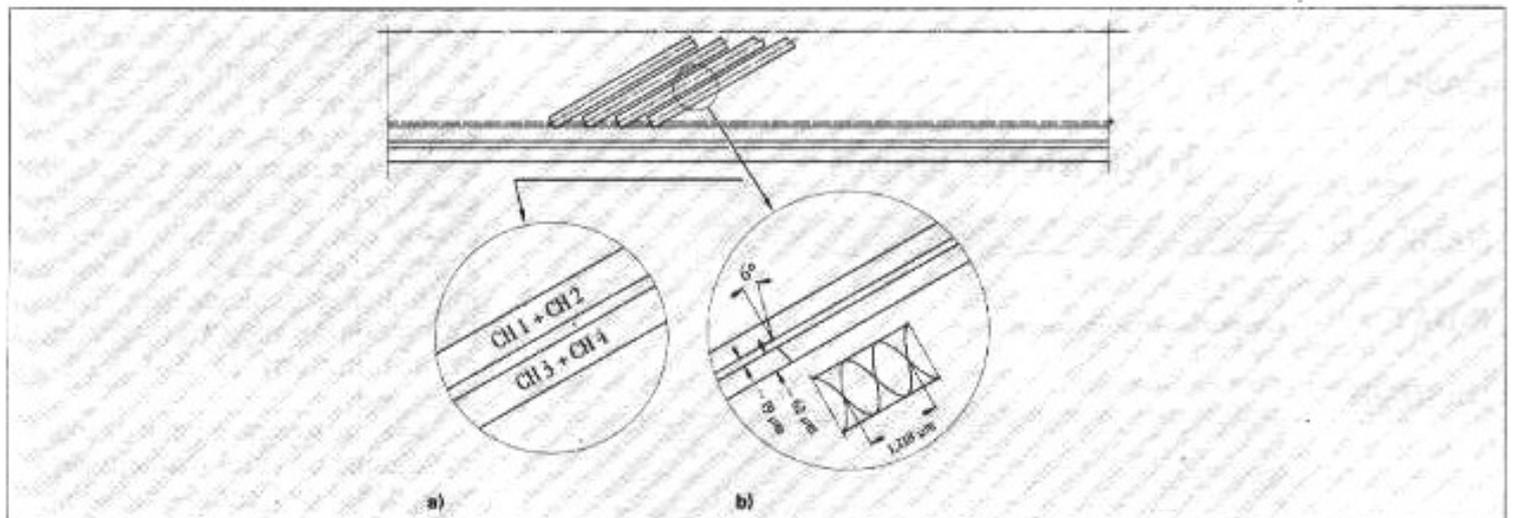
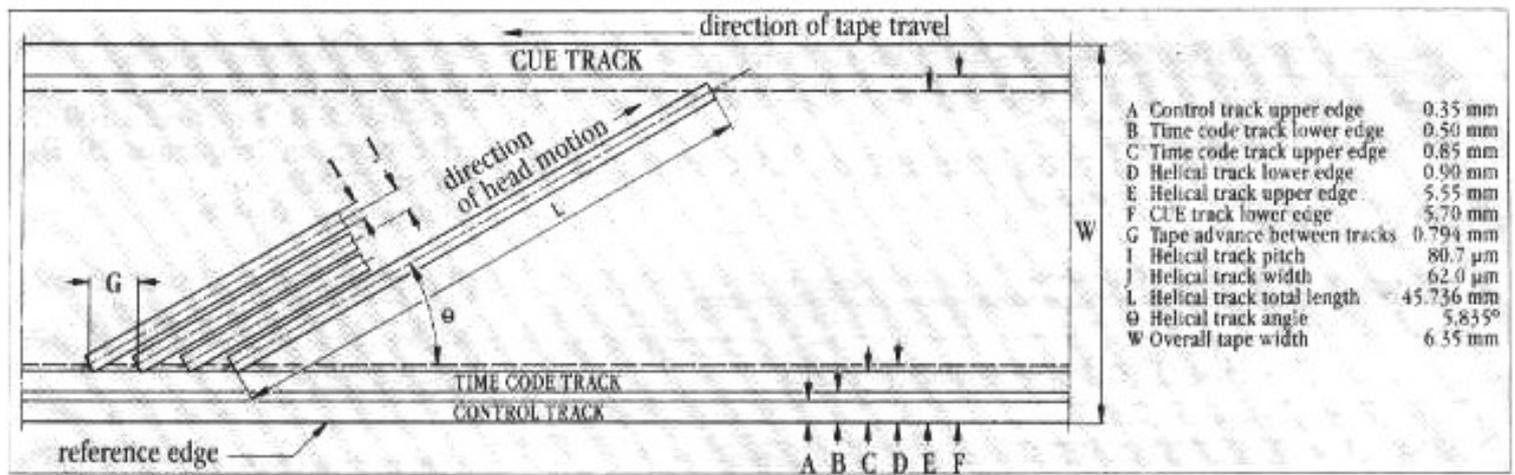


figure 4

mode il y a encore de la place pour les machines à bandes en studio, qu'elles soient digitales ou analogiques d'ailleurs".

NDLR : Le DTR 900 est un magnétophone 32 pistes de marque OTARI et au format PRODIGI; Le 3324 est un magnétophone 24 pistes de marque SONY au standard DASH.

L'audio numérique vu par Nagra

Aboutissement d'un programme de recherche lancé en mars 1989, le Nagra D, commercialement disponible dès septembre, est un enregistreur audio numérique portable à quatre canaux (voir photo 7).

La fiabilité et la transparence sonore des magnétophones analogiques fabriqués par Nagra sont deux des qualités qui ont contribué à établir la réputation de cette société parmi les professionnels. La mise sur le

marché par Nagra d'un nouvel enregistreur, numérique de surcroît, se devait donc de ne pas décevoir. Aussi, conscients des limites imposées par les formats actuels en enregistrement numérique, les ingénieurs de chez Nagra ont préféré développer leur propre format.

Le format du Nagra D

Cet enregistreur est à bobines libres (photo 8) et utilise de la bande magnétique digitale au format 6.30 mm. Un tambour rotatif à quatre têtes (photo 9) assure l'enregistrement et la lecture des données numériques (canaux 1-2, 3-4). Cette configuration permet une amélioration de la qualité des signaux enregistrés (un meilleur niveau) et assure un "monitoring" vrai du signal. A la gauche du tambour, on aperçoit une tête magnétique traditionnelle qui autorise l'enregistrement et la lecture de trois pistes longitudinales.

Le format d'enregistrement est de 4 fois 24 bits (20 bits audio plus 4 bits de données auxiliaires) ce qui permet d'exploiter au maximum les entrées sorties digitales AES-EBU.

Les conversions s'effectuent sur 18 bits (cet appareil est conçu pour être équipé de convertisseurs 20 bits dès que des convertisseurs de faible consommation seront disponibles dans ce format. Les fréquences d'échantillonnage possibles sont : 32 kHz, 44.1 kHz, 48 kHz. Le format de 20 bits autorise une dynamique de 120 dB, avec les convertisseurs au format 18 bits il reste 108 dB de dynamique...

La figure 4 visualise l'empreinte magnétique de la bande :

-La piste CONTROL permet l'enregistrement de marqueurs de position afin d'autoriser au tambour un suivi synchrone des pistes hélicoïdales (il est prévu de pouvoir enregistrer entre ces marqueurs des données supplémentaires en vue d'évolutions futures).

Packing density (size of one bit)	
NAGRA-D	47.6 μm 21 kbits/mm ²
R-DAT	5.65 μm 176 kbits/mm ²
DASH/PD	186 μm 537 kbits/mm ²
Head to tape speed (m/s)	
NAGRA-D	11.689 m/s
R-DAT	3.133 m/s
DASH/PD	0.38 m/s
Track width / length	
NAGRA-D	45.73 mm 70 μm
R-DAT	23.501 mm 13.6 μm
DASH/PD	A LOT mm Longitudinal 305 μm

tableau 3

-la piste TIME CODE permet l'enregistrement d'un code temporel de synchronisation (SMPTE-EBU 80 bits/frame).

Les pistes hélicoïdales enregistrent chacune les données de 2 canaux (voir cercle a) et comportent chacune 48 échantillons d'informations auxiliaires (positions des faders de l'enregistreur, fichier de "drop out" etc...). Le cercle b montre l'azimut d'enregistrement et indique la longueur d'onde gravée (1.218 μm).

L'intérêt de ce format est d'assurer avant tout la sécurité des enregistrements :

-La largeur des pistes 70 μ (contre 13.6 μm pour le DAT) et leur positionnement évite les problèmes de suivi de pistes dus aux vibrations et assure une bonne compatibilité entre machines identiques.

-La longueur d'onde gravée 1.218

μm , réduit les phénomènes d'auto-démagnétisation du support. A ce sujet Nagra est le seul constructeur à garantir une durée de vie de 50 ans et plus des enregistrements effectués dans ce format.

-Le tableau 3 permet de comparer les caractéristiques physiques des différents formats d'enregistrement audio numérique.

Cet appareil est indifférent aux conditions climatiques (c'est-à-dire conçu pour supporter les prises de son extérieures), il s'ouvre comme un livre (en desserrant 2 vis comme tout Nagra qui se respecte) et ultime raffinement : les plans de joint à ce niveau sont désanodisés et le joint souple qui les sépare est conducteur ce qui renforce l'immunité aux champs HF des quelques chiffres qui suivent parlent d'eux mêmes :

Autonomie (quatre canaux) 1 h56 mn (bobine de 7')

Rapport S/B : supérieur à 100 dB.

Réponse en fréquence 20 Hz-20kHz \pm 0.5db.

Distorsion : 0.05 %.

QUELLES MACHINES POUR DEMAIN ?

On pourrait avec raison se dire, à la lecture de ce qui précède, que la sophistication atteinte par l'analogique le dispute au raffinement technologique de l'audio numérique et que ni l'une ni l'autre de ces deux alternatives ne saurait prétendre à une quelconque suprématie. Cela semble assez vrai : si l'audio-numérique évolue vite, l'analogique, pour être à moitié centenaire, n'en est pas moins une technologie bien vivante ; l'évolution des supports magnétiques et notamment la 3M 996 en témoigne.

Alors... le royaume infini du monde analogique ou celui mathématiquement défini de l'audio-numérique ?

Ces deux technologies diffèrent plus par leur champs d'applications respectifs que par leurs performances pures. A notre avis l'analogique est plus que jamais susceptible d'accepter des crêtes de modulations importantes au dessus du niveau nominal d'enregistrement (ceci sans dégradation subjective du signal), c'est ce qui le rend incontournable pour certaines prises de son. L'audio-numérique est lui affranchi des problèmes de générations successives de bandes et offre une souplesse accrue au mixage. Actuellement, ces deux technologies sont complémentaires ; seule l'arrivée progressive de stations de travail "tout informatique" (le direct to disk) et la baisse du prix de ces dernières pourra sonner le glas des machines à bandes.

Remerciements.

3M France : Catherine Thomassis, Anne-Marie Ouze, Jonathan Lewis (3M UK).

Association Française de Normalisation : Sandrine Play.

NAGRA France : Francis Guerra.

Studios FERBER : Mr Pierry.