

L'AUDIOPHILE

N° 6 NOUVEAUX NUMÉROS 12 ANNIÉE

HAUTE FIDÉLITÉ PLUS!

QUID:

*Les nouveautés
du
CES
de
Chicago*

ACDUSTAT, APOGEE,
AUDIO RESEARCH,
CALIFORNIA AUDIO LABS,
CELLO, CONRAD-JOHNSON,
INFINITY, KRELL,
MAGNEPAN,
MARK LEVINSON,
MARTIN LOGAN, MISSION,
QUAD, WADIA, YBA.

LES MUSES D'OR

ou
convertisseur

Wadia Digital 2000



PANORAMA:

12 marques
d'électroniques à tubes



THEORIE

Les atouts du tube

**ACCESSOIRES
& TENDANCES**

Câbles et connectique

FORUM

autour du convertisseur
Sony DAS-R1

ACOUSTIQUE

De l'oreille en plus

**REALISATION
PERSONNELLE**

Kit d'enceinte

**L'Histoire
de l'Audio**

- La Western Electric
- La Marantz 10B

MUSIQUE

La Sonate

(Sélection discographique)



- **Jazz :**
les grands orchestres
- **Les meilleurs CD**

Rencontre avec Pierre Verany

M 2569 6 55,00 F



3792559055009 00060

**Page non
disponible**

Quoi de neuf?

FRANCFORT HIGH END 89

Jean Hiraga



u mois d'août, chaque année, le High End de Francfort réunit plusieurs dizaines d'exposants et des milliers de mordus d'audio de « top niveau ».

Cet été, le High End s'est déroulé du 10 au 13 août à l'hôtel Kempiski. Loin du bruit de la ville, dans un cadre somptueux où le prix des « suites » était en parfaite harmonie avec certains maillons très haut de gamme qui brillaient de tous leurs feux sous les projecteurs des stands.

Table de lecture Kieser II de la firme RTV.

Comme pour justifier le prix de ces merveilles technologiques au service de la musique, il faut bien faire appel de temps en temps à des grands couturiers spécialisés dans « la mise en valeur des beaux châssis ». Peu de visiteurs n'ont en conséquence été vraiment surpris par les superbes chromes, par les flancs, les socles en marbre, en bois rare ou en métal usiné dans la masse ou bien par des esthétiques sortant de l'ordinaire.

De très belles, et peut-être les dernières tables de lecture analogique étaient présentes avec pour prétention un son encore plus pur. Ce phénomène n'est pas sans rappeler les derniers perfectionnements apportés sur les phonographes 78 tours qui parurent à l'époque où les microsillons commençaient à prendre une bonne part du marché. Ne dit-on pas que juste avant de s'éteindre, la flamme de la chandelle brille de sa plus belle lueur ? Qu'on se rassure en pensant qu'il existe dans le monde des dizaines de millions de disques en excellent état de conservation, de quoi donner l'envie à des grands spécialistes comme Thorens de continuer à présenter des nouveautés. De l'expérience particulièrement fructueuse des très haut de gamme Référence et Prestige, Thorens a pu extraire la quintessence tout en se tenant dans des fourchettes de prix beaucoup plus raisonnables : TD 280 Exclusiv, en finition noire ou acajou avec plateau en zamec de 1,2 kg, TD 318 MKII, TD 320 MKII, Phantasia (avec socle transparent et plateau de 3,2 kg), Concrete (socle rond en pierre synthétique). Mis à part la version semi-professionnelle TD 535, le haut de gamme est représenté par la TD 520 MKII.

Pour les moins fortunés, Thorens n'a pas abandonné pour autant les TD 146 MKV et TD 160 MKV. Cette gamme se complète d'accessoires tels que pointes, palets presseurs, câbles

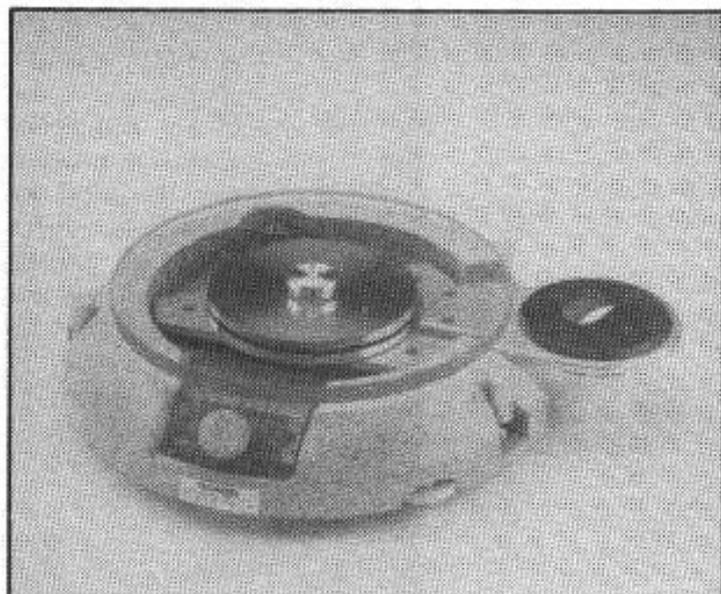


Table de lecture Thorens « Concrete ».

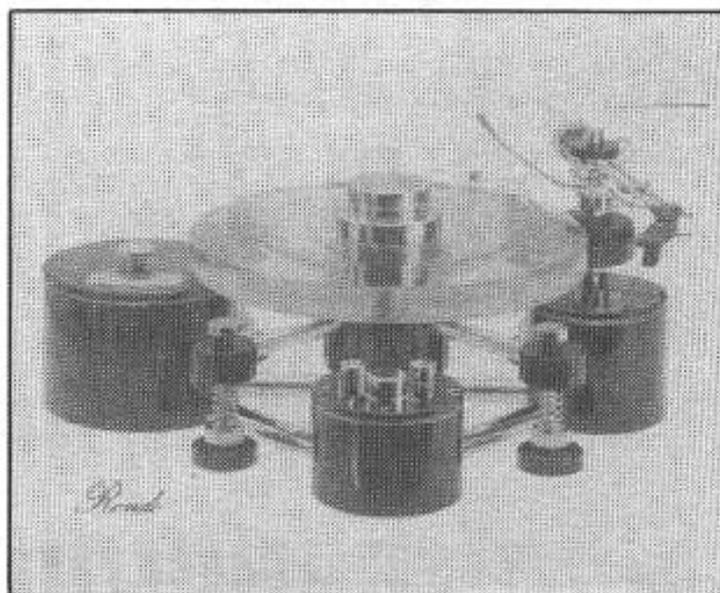


Table de lecture Postl et Smid, modèle Rondo.

Cinch-Cinch, brosses et lève-bras séparés.

Parmi les concurrents, l'autrichien Postl et Smid présentait la version Rondo, constituée d'un épais plateau de verre et de socles cylindriques reliés par des tubes dorés, lui donnant un aspect très ésotérique. Une autre firme allemande du nom de RTV exposait le modèle Kieser II qui associait formes cylindriques, teintes or et argent et pieds montés sur suspensions élaborées. D'autres constructeurs comme G et E délaissaient les esthétiques futuristes et la « joaillerie » pour proposer des modèles d'une grande simplicité : socle en granit, plateau en Perspex, socle de bras interchangeable en granit noir, moteur Papst assisté d'une régulation électronique en boîtier séparé. Bien que cela reste à vérifier, certains constructeurs de tables de lecture annonçaient un rapport signal/bruit de 83 dB sous la norme DIN B. A ces nouveautés, il ne fallait pas manquer d'ajouter de nouveaux phonoclecteurs. Faute de pouvoir tout décrire par manque de place, citons au passage les cellules Clearaudio basées sur un principe de transduction à bobines mobiles enroulées sur le stylet porte-pointe, de part et d'autre

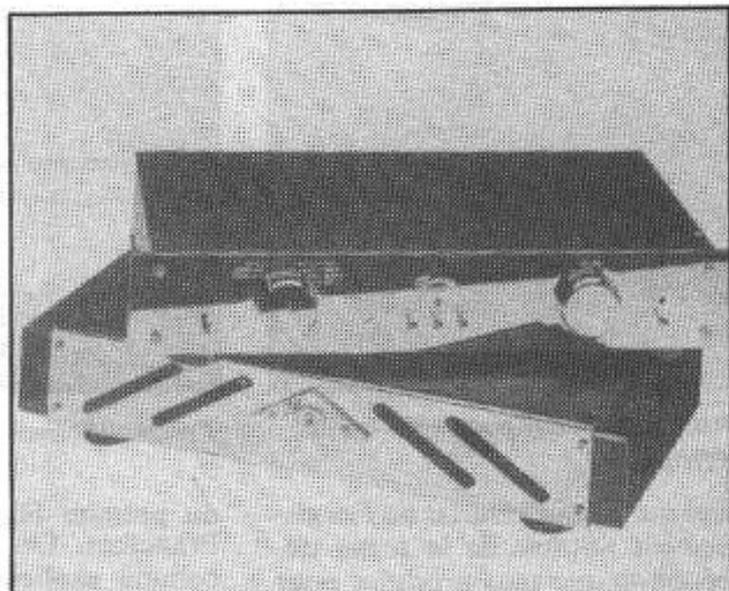
de l'axe de pivotement. Cette gamme de cellules se compose de 6 modèles baptisés Insider, Accurate, Signature, Veritas-S, Delta-S et Gamma-S. De son côté, la firme américain Madrigal présentait la version MC Carnegie Two, avec pointe lectrice « Micro Edge Line Contact » $4 \times 80 \mu\text{m}$ et force d'appui optimale de 1,8 g.

En l'espace de quelques années, on a pu assister en RFA, à la naissance d'un nombre relativement important de produits de haut de gamme construits le plus souvent en petite série. La majorité d'entre eux s'est attachée à soigner tout particulièrement la finition, le câblage, la sérigraphie et les modes d'emploi. Particulièrement « photogéniques », ces maillons ont rempli les couvertures et les bancs d'essai de revues spécialisées comme *Stereo* ou *Hi-Fi Vision*. Burmester fait partie de ces produits qui brillent de tous leurs chromes, sans dédaigner pour autant la qualité des composants ou les performances objectives. Le dernier ensemble préampli-ampli Burmester 877 et 878 est très certainement ce que l'on peut trouver de plus étonnant, de perfectionné jusqu'au plus petit détail.

Le 877 est un préamplificateur dont la face avant chromée mais sobre (volume, sélecteur, monitoring, sortie casque, fonction mono-stéréo) cache des circuits extrêmement sophistiqués : transformateurs d'alimentation et alimentations séparées pour chaque canal, commande de volume à plots et à résistances calibrées, circuit imprimé modulaire, sortie symétrique au standard XLR. La même philosophie est suivie sur l'amplificateur 878 de puissance $2 \times 85 \text{ W}/8 \Omega$. Le succès de Burmester en RFA n'a pas été sans stimuler la concurrence, ce qui expliquerait cette tendance pour des finitions aussi poussées. Citons entre autres des concurrents comme Schäfer und Rompf qui préfère abandonner les chromes au profit de laques noires et de boutons dorés. Chez ce constructeur, l'Emitter II est un amplificateur de $2 \times 250 \text{ W}$ dont les 5 transformateurs d'alimentation totalisent une puissance de quelques 2 800 VA, ce qui conduit à un poids total de 35 kg. Conçu selon la technologie MOS-FET, l'Emitter II n'hésite pas à surdimensionner la plupart de ses composants. Cet amplificateur se complète du préamplificateur Collecta I+II. Dans un style proche était exposé



Tuner AM-FM de T+A, modèle Pulsar R 2000 AC.



Ensemble Burmester 877 et 878.

sur le stand CAE les électroniques P2 et P1, un préamplificateur qui, selon la notice du constructeur est annoncée pour un rapport signal/bruit de 96 dB sur entrée phono suivi d'un amplificateur 2x50 W conçu pour travailler en classe A jusqu'à mi-puissance.

Omtec, jeune firme allemande réputée pour la qualité de ses électroniques exposait un amplificateur monaural travaillant en pure classe A, le CA 60 Monoblock. Conçu par une équipe de passionnés dirigée par Manfred Baier, le CA 60 peut délivrer 110 W sur 8 Ω. Il a pour originalité de n'utiliser aucun matériau magnétisable, transformateur d'alimentation excepté. Compte tenu de sa fiabilité, son constructeur lui donne une garantie de 5 ans.

Un des concurrents de cette marque a pour nom TE Audio Systeme. Cette firme sise à Stuttgart exposait le TE 11, un amplificateur de 80 W/8 Ω travaillant en classe A jusqu'à concurrence de 10 W, le TE 12, une autre version monaurale de 120 W/8 Ω ainsi qu'un préamplificateur surnommé TE 1.

Bien entendu, les électroniques à tubes ne manquaient pas. Elles constituaient même les

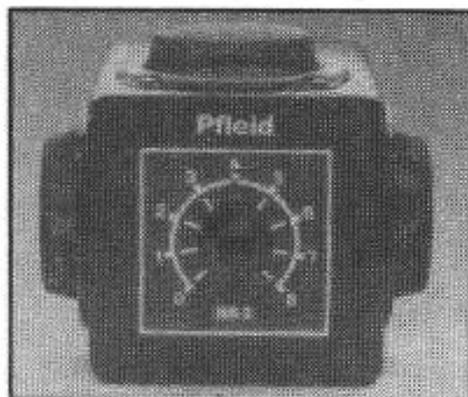
principaux points d'attraction des stands du High End Show. Parmi les différentes marques exposées, citons en passant la présence d'un nouvel amplificateur Keschull, le bloc monaural 150/800. De dimensions 45x39x23 cm et d'un poids de 35 kg, cet amplificateur peut fournir 50 W en pure classe A, 150 W en classe AB et près de 800 W en réponse impulsionnelle. Entièrement à tubes, il est équipé de deux tubes d'entrée E88CC, d'une 12BH7, de deux ECC82/12AU7 et de quatre tubes KT88 montés en push-pull parallèle. Un autre spécialiste du tube, la firme Klimo présentait plusieurs amplificateurs dont l'esthétique sortait de l'ordinaire : tubes perchés sur le dessus d'un châssis anormalement haut, un peu à la manière de l'ancêtre Mac Intosh 50-2.

T&A montrait ses capacités en matière de commande logique, de télécommande et d'affichage multi-fonctions avec son étonnant synthétiseur AM/FM Pulsar R 2000 AC complété de l'amplificateur intégré PA 2000 AC et d'autres maillons présentant soit un très bon rapport qualité/prix (c'est le cas du préamplificateur P 1000 qui a fait l'unanimité de la presse alle-

mande), soit une puissance élevée (le bloc mono A 3000 M peut délivrer 800 W sur une charge de 2 Ω).

Le manque de place ne peut permettre de décrire toutes les électroniques exposées. Ajoutons encore les électroniques modulaires Lisa et Diana de la firme Postl et Smid, un superbe amplificateur baptisé Phase II chez Backes & Muller et le préamplificateur Brinckmann. Quant au haut de gamme Grundig que l'on connaît sous la marque Fine Arts, cette gamme s'est étendue pour se constituer du tuner T-9000, du lecteur CD CD-9000, du magnétocassette DAT, DAT-9000, de l'amplificateur intégré A-9000, le tout se complétant d'une gamme plus économique (T-903, A-903, CCT-903 — magnétocassette — et CD-903). Bien entendu, il ne semble pas nécessaire de faire état de la présence des nombreuses marques japonaises, américaines, anglaises ou françaises (telles que Cabasse, Triangle ou YBA) que nos lecteurs connaissent parfaitement.

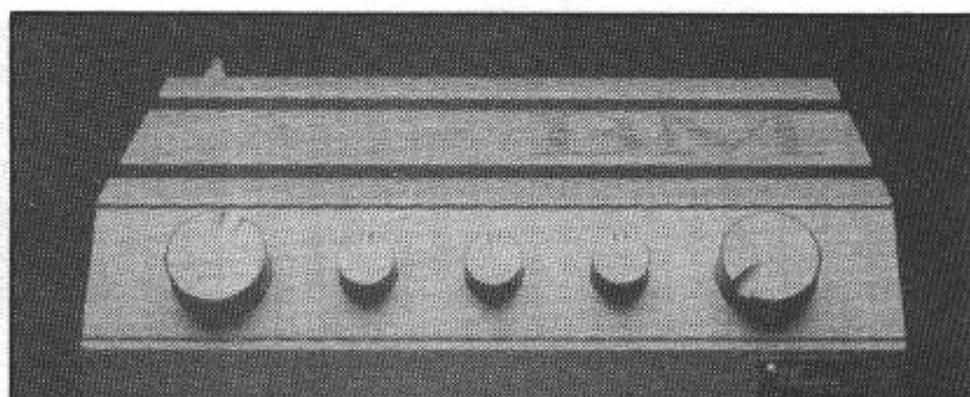
Il a été remarqué chez Pflaid, un constructeur allemand réputé pour ses enceintes acoustiques, un accessoire qui, sous la dénomination RS 2 crée un effet spa-



Adaptateur actif pour effet spatial Pfield RS-2.

tial qui a pour résultat un élargissement notable de la scène stéréophonique sans produire pour autant de perte de focalisation des sources situées entre les enceintes. Le système se compose de deux petites enceintes qui, placées chacune sur les enceintes principales, émettent, grâce à leurs trois haut-parleurs, des sons dans trois directions. Chaque boîtier mesure $8 \times 8 \times 17$ cm et peut supporter une puissance nominale de 100 W. Selon l'acoustique, la géométrie de la pièce d'écoute et le goût de l'auditeur, un réglage situé sur la face avant assure l'optimisation du système.

Les enceintes inconnues ou mal connues en France ne manquaient pas. Cette constatation aurait pu être faite dès la visite

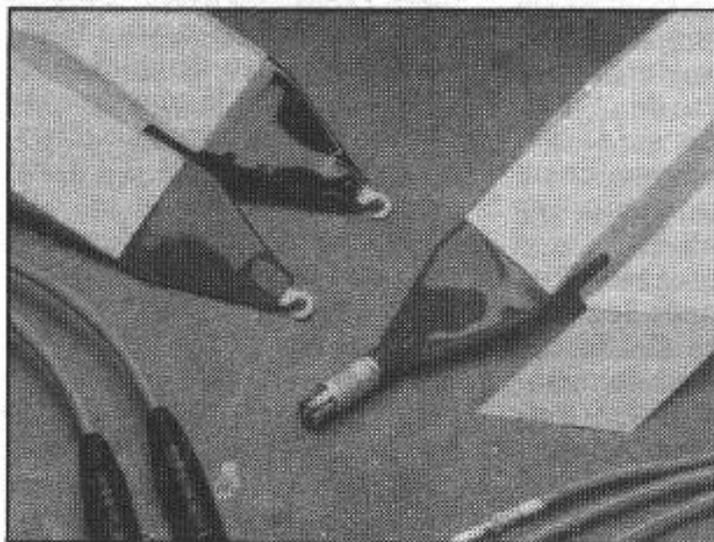


Préamplificateur Backes & Muller, modèle Phase II.

du premier High End Show de Francfort. On pourrait trouver comme explication une saturation du marché français au niveau des enceintes acoustiques, le prix (certains modèles sont de prix trop élevé) ou bien encore des productions nationales tout juste capables de couvrir le marché local. Une autre explication, plus regrettable pourrait être due au fait que chaque année, à la mi-août, très peu de visiteurs français acceptent de sacrifier un ou deux jours sur les vacances annuelles pour la visite du High End Show de Francfort, qui est pourtant une manifestation méritant vraiment ce nom. De ce fait et pour beaucoup d'amateurs français de haute-fidélité, bien des marques leur sont inconnues malgré leur ancienneté.

Terminons cette visite en parlant de l'étonnante variété d'accessoires présents lors de cette manifestation : câbles, connecteurs, pieds amortisseurs, pointes, socles anti-vibratoires. Citons parmi les nouveautés le câble HP extra-plat Helical Planar Copper de Madrigal (USA), les nouveaux câbles en fil de Litz Audio Research, l'imposante gamme de connecteurs et prises WBT ainsi que les pieds et palets presseurs de Transrotor.

Les organisateurs de cette manifestation avaient d'autre part fait imprimer un épais catalogue contenant, en plus des publicités traditionnelles, plusieurs articles de fond sérieux destinés à informer, à guider les intéressés en vue du meilleur choix dans leurs futurs achats.



Câbles plats pour enceintes HPC de Madrigal.

Eight-conductor LitzLine™ speaker wire
Eight conductive Litz bundles are used to provide maximum signal transmission and purity, yet with reasonable size and flexibility for in-home use.

Fibrous center spacer helps hold all conductive bundles firmly in position, preserving overall geometry for best sonic.

Thick PVC outer jacket holds conductive bundles in place against inner spacer. PVC is flexible and highly resistant to deterioration from abrasion, chemicals or ultraviolet components of sunlight.

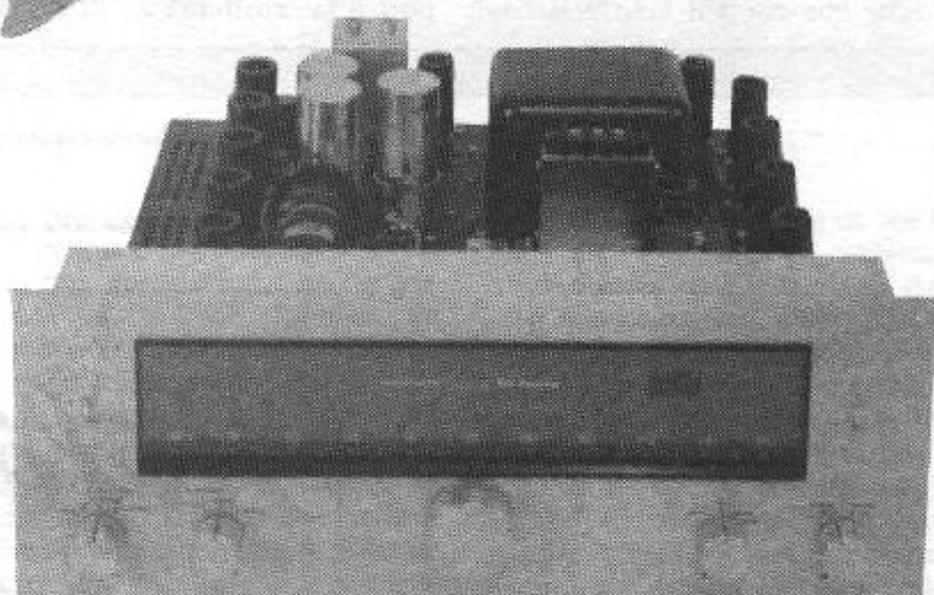
Extruded polypropylene jacket of specified thickness around each Litz bundle yields tightest possible "wrap," holding each strand firmly in position for minimum magnetic field distortion.

Vue en coupe du nouveau câble Audio Research Litz Line.

**Page non
disponible**

RAGUERE

Patrick Vercher



MARANTZ 10B

E

n cette soirée du 20 septembre 1967,

France Musique retransmet en direct de la Salle 104 à la Maison de la Radio, un concert de l'Orchestre de l'ORTF. Au programme, la Symphonie n° 2 de Brahms. Dès l'attaque du premier mouvement, sur l'oscilloscope intégré du tuner Marantz 10 B, un chignon vert se forme révélant le maximum de séparation des canaux droit et gauche ainsi que leur bonne mise en phase.

Auparavant, l'heureux possesseur de ce tuner a peaufiné en jouant sur le rotacteur commandant le moteur électrique, l'orientation de l'antenne rotative Hirschman placée sur le toit, en vérifiant la propreté de la trace horizontale d'accord sur l'écran carré du 10 B. Il ajuste le volume sur le préampli 7 C qui attaque deux blocs monos modèle 9 et peut goûter, confortablement installé, aux joies d'une image stéréophonique grandiose, diffusée par l'immense J.B.L. Paragon, dont le panneau curviligne réflecteur replace les instruments dans l'espace avec beaucoup de précision sans rien perdre de l'ambiance sonore de la salle de concert.

Il faut dire qu'à l'époque, la technique de prise de son stéréo à partir des premiers couples de microphones Schoeps placés à 110° procurait, par rapport aux techniques multi-micros, un relief et un réalisme sonores saisissants de vérité, mais il fallait toute la technologie ultra-sophistiquée du 10 B pour rendre vraiment justice à la profondeur des plans sonores.

Un peu d'histoire

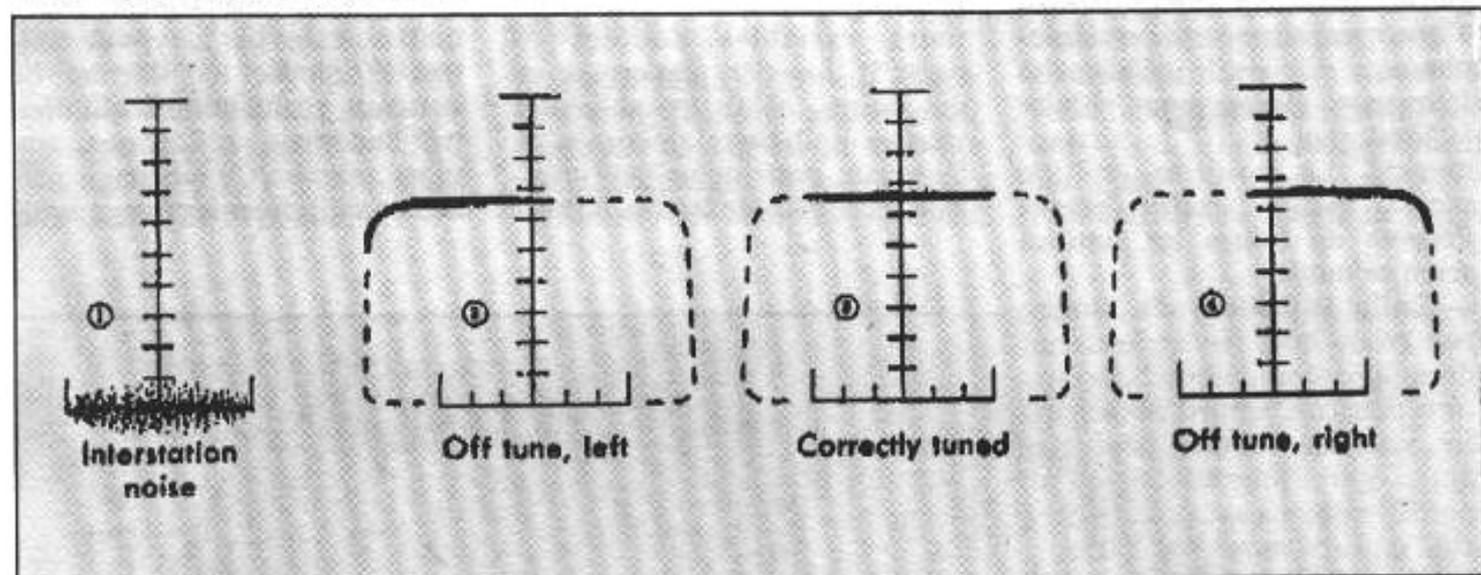
L'étude d'un tuner FM sans compromis dépassant tout ce qui avait pu être réalisé à l'époque démarra chez Marantz en 1961. Le programme d'étude se heurta à pas mal de difficultés d'ordre technique car s'il était relative-

constituait réellement le « State of the Art » en matière de tuner FM.

Même aujourd'hui, un 10 B n'est nullement dépassé par les tuners actuels en matière de performances mesurées (en particulier en taux de distorsion par rapport à la sensibilité à l'antenne)

En continuant le tour du propriétaire, les autres boutons se partagent les commandes suivantes :

— Celui dit « Display » à trois positions modifie la fonction de l'oscilloscope ; ainsi, sur le plot Tuning, le placement de la trace horizontale supérieure cor-



Quelques exemples des traces indicatrices que l'on peut voir sur l'écran de l'oscilloscope sur le mode Accord sur station. En 1, bruit interstation. En 2, mal accordé à gauche. En 3, accord correct. En 4, mal accordé à droite.

ment aisé de concevoir des amplificateurs ou préamplificateurs à tubes, par contre réaliser un « récepteur » FM aussi perfectionné, à lampes, devenait une véritable gageure, voire une « opération suicidaire » sur le plan financier pour une entreprise. Enfin, après 5 ans de gestation mobilisant la « fine fleur » des ingénieurs spécialisés dans le traitement des signaux hautes fréquences avec à leur tête M. Dick Sequerra en personne (qui réalisa quelque quinze ans plus tard le légendaire tuner portant son nom) et quelque 250 000 dollars engloutis dans l'étude (pour le cours du dollar il faut se reporter aux années 60), le premier « Modèle 10 » vit le jour. Ce rêve « fou » concrétisé, fit dire d'ailleurs à Saül B. Marantz que « jamais plus sans doute, nous ne recommencerons pareille tâche. »

Le Modèle 10 fut suivi très peu de temps après par le 10 B qui

et surtout en matière d'écoute (excellente séparation des canaux jusque dans l'aigu, impression spatiale et de naturel sur les timbres).

Descriptif

Le Marantz 10 B est absolument superbe, avec un très large cadran de recherche des stations (de 88 à 108 MHz), dont la luminosité de l'éclairage et de celle de l'écran de l'oscilloscope peuvent être ajustées à partir du bouton de mise sous tension « Power » à trois positions. Le gros bouton central de recherche de stations est solidaire d'un lourd tambour gyroskopique dont l'onctuosité « jésuitique » dans la rotation n'a jamais été égalée. A ce sujet, comble de raffinement, une petite vis sur le côté de l'appareil permet d'ajuster avec une précision de 50 kHz la position de l'aiguille par rapport à l'échelle graduée, pour une calibration parfaite.

respond à l'accord sur station et sa forme renseigne sur les corrections éventuelles des réflexions parasites par orientation optimale de l'antenne. Sur les deux autres positions, Left et Right, l'oscilloscope est branché aux sorties audio-fréquences du tuner ou à des bornes extérieures. Ainsi, en plaçant le bouton Display sur Output, on peut analyser selon la forme de la trace la présence du seul canal droit (trait horizontal), du seul canal gauche (trait vertical), du maximum de séparation (forme de chignon), d'un passage avec un léger mélange des deux canaux (trace épaisse oblique de gauche à droite), monophonique (trait fin oblique), inversion de phase de l'émission (trait épais oblique de droite à gauche). Autant de figures qui renseignent avec précision sur la qualité du message reçu. Sur la position externe, on peut brancher les entrées XY de l'oscilloscope

incorporé sur un préampli ou une autre source de modulation pour juger de la séparation des canaux en stéréophonie.

— Le bouton « Mode », à trois positions lui aussi, offre le choix entre deux commutations automatiques mono-stéréo, l'une dite Normal et l'autre Hi-Blend qui, au lieu de couper le registre aigu d'une mauvaise réception stéréophonique effectue le mélange des fréquences élevées pour réduire le bruit sans altérer le message musical. La troisième position mono assure exclusivement l'écoute de toutes les stations selon ce mode.

— Enfin le bouton de Muting met en ou hors service le circuit de suppression de bruit interstation pour un accord silencieux. Le seuil de muting peut être ajusté par l'intermédiaire d'un potentiomètre à axe fendu situé à côté du tube numéroté V 19.

D'autres ajustages annexes sont possibles ; ainsi celui du centrage de la trace de l'oscilloscope par l'intermédiaire de deux petits boutons placés de part et d'autre du cadran, marqués : Vertical (pour celui de gauche) et Horizontal (pour celui de droite) ; de la brillance de la trace par un potentiomètre placé à côté du tube V 21 ainsi que celui de « Finesse du spot » pour un tracé parfaitement net. De même, le seuil de déclenchement du décodeur stéréo peut être également ajusté. Par contre, les circuits très particuliers du 10 B ne nécessitent aucun ajustement des filtres « par bonds » de fréquences intermédiaires, même dans le cas du remplacement des tubes de cette section.

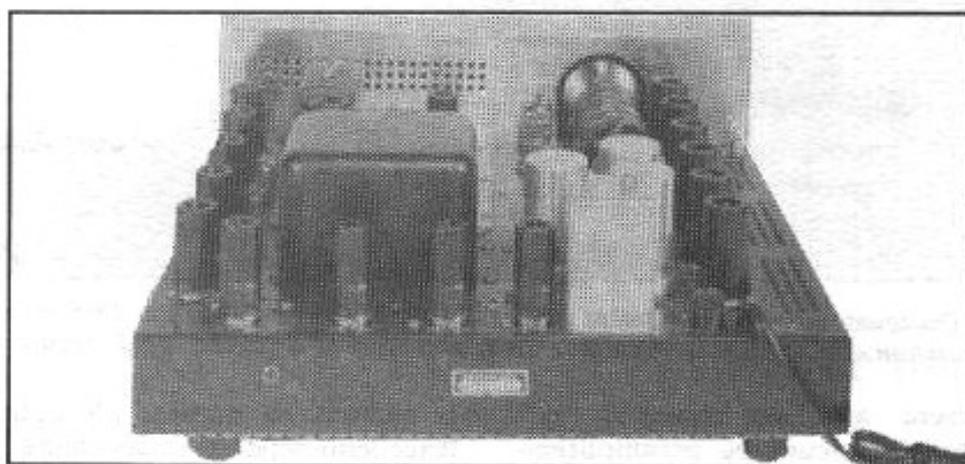
Or, des tubes, cela ne manque pas sur le 10 B, puisqu'on peut en dénombrer près de 21, plus le tube cathodique de l'oscilloscope incorporé. Chacun de ces tubes bénéficie sauf trois (haute tension pour l'oscilloscope) d'un blindage spécifique. La référence de chacun de ceux-ci est sérigraphiée à la base sur l'immense

châssis laqué noir, à l'exception d'un rectangle anodisé correspondant à la tête HF. Pour éviter toutes les liaisons longues, le bornier antenne 300 Ω symétrique et 75 Ω asymétrique se situe directement sur cette section.

Les circuits, qui travaillent en ultra-hautes fréquence, sont accordés par quatre condensateurs variables doubles (8 cages !) jumelés, étalonnés en dix points, selon le cahier des charges ambitieux américain de l'époque, pour avoir une précision de ± 25 kHz (soit la largeur

tion de fréquence intermédiaire suivis de deux étages limiteurs et d'un étage d'attaque du démodulateur assurent un gain total de 140 dB en tension et une bande passante de 220 kHz et 108 dB par octave d'atténuation en dehors.

Pourquoi ce gain gigantesque ? Tout simplement parce qu'il est exigé par le type de limiteur à diodes au silicium de structure plane adopté qui était très supérieur, à l'époque, aux tubes saturés. Ce schéma a permis de supprimer le réglage auto-



Vue de dos du Marantz 10 B. Le branchement des arrivées de l'antenne s'effectue directement sur la tête H.F.

de l'aiguille) sur toute la longueur de 25 cm de l'échelle graduée des fréquences de 88 à 108 MHz.

L'étage mélangeur s'effectue par un pont équilibré de quatre diodes pour diminuer les risques de bruit, réduire les formes de distorsion par harmoniques et d'interférences (selon une technique appliquée au radar dans les années 60).

L'amplificateur à fréquence intermédiaire à six étages a nécessité des filtres passe-bande à trois circuits toroïdaux couplés (indéréglables, 18 dB par octave d'atténuation) avec un maintien rigoureux de la phase proportionnellement à la fréquence (certainement l'une des raisons de l'incroyable image stéréo du 10 B). Les six étages d'amplifica-

matique de gain qui avait la fâcheuse tendance de modifier l'impédance d'entrée des tubes amplificateurs de fréquence intermédiaire, avec son lot de rotations de phase indésirables.

Un discriminateur de phase s'occupe de la démodulation moyenne fréquence, quant au décodeur, d'après les renseignements que nous avons pu obtenir, il est à correction de phase spécialement réalisé pour réduire la diaphonie à -30 dB (!) à 15 kHz.

L'indicateur de mode stéréo et le circuit d'accord silencieux sont commandés par des cellules photo-résistantes au sulfure de cadmium.

Pour la section oscilloscope de contrôle, le tube cathodique de 7,5 cm, selon le signal appliqué

aux deux paires de plaques déviantes, fournit toutes les indications vues plus haut.

La finition, dans les moindres détails, dépasse l'entendement et il faut voir un tel chef-d'œuvre d'électronique à tubes pour se rendre compte de la masse de travail qui a dû être déployée pour, non seulement mettre au point une telle « usine à tubes » mais également pour la réaliser.

Spécifications du constructeur

Sensibilité : $2 \mu\text{V}$ selon les normes IHFM de l'époque.

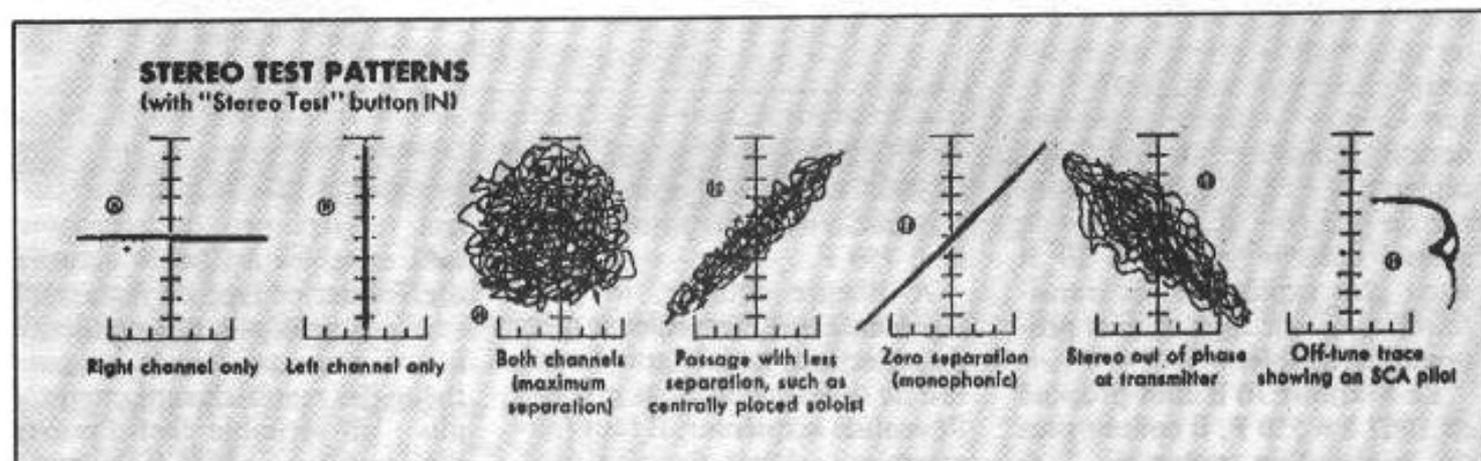
Dimensions : largeur 39 cm, hauteur 15 cm, profondeur 39 cm.

Finitions : anodisage doré, éclairage du cadran à deux intensités lumineuses, châssis laqué noir. Un coffret en noyer avec grille supérieure perforée était aussi disponible en option.

Ecoute

Le Marantz 10 B peut encore offrir un plaisir d'écoute incomparable au sein d'un système sans compromis. Il mérite naturellement une antenne FM digne

syllabes. L'ensemble de ces caractéristiques subjectives, allant dans le sens d'une grande homogénéité de timbres, avec une répartition de la dynamique sur tout l'ensemble du spectre que l'on ne trouve que difficilement sur les tuners transistorisés actuels. On fait, certes, un peu mieux en sélectivité sur les stations de faible puissance, mais le 10 B, dès que le signal à l'antenne est suffisamment puissant, se cale imperturbablement sur l'émetteur choisi sans que l'on entende de temps en temps



Les différentes traces indicatrices du mode de réception que l'on peut visualiser sur l'écran du 10 B. En 1, seulement le canal droit. En 2, seulement le canal gauche. En 3, séparation maximale des canaux. En 4, passage avec un soliste. En 5, mono seulement. En 6, stéréo avec canaux hors phase. En 7, hors accord.

Sélectivité : -42 dB sur porteuse adjacente, -150 dB pour toutes autres porteuses.

Réjection totale : supérieure à 100 dB (fréquence image).

Réjection de l'A.M. : supérieure à 70 dB à tous niveaux d'un signal modulé à 80% .

Dynamique : 55 dB pour $4 \mu\text{V}$ antenne, 70 dB pour $25 \mu\text{V}$.

Diaphonie : -45 dB entre 20 et 500 Hz , inférieure à 30 dB à 15 kHz .

Filtres des ondes pilotes et sous-porteuses : 19 et 38 kHz , pour pouvoir enregistrer les émissions FM sans battements parasites.

Sorties audio-fréquence à basse impédance.

Alimentation : $117-234 \text{ V}$ (50 à 60 Hz). Consommation : 100 VA .

de ce nom, d'autant plus que son oscilloscope fournit toutes les indications pour une orientation optimale. A ce sujet, il faut faire attention à ne pas trop jouer sur la luminosité car il risque de se former une trace noire au centre de l'écran et le changement du tube cathodique peut poser des problèmes car il n'est pas du tout évident de retrouver un modèle similaire. Bien aligné, sur des retransmissions FM stéréo de qualité telles que celles retransmises par France Musique ou par F.I.P., on remarque instantanément la notion de matière sonore sur les timbres, grâce à une richesse harmonique peu commune, une absence de sensation de saturation sur les fortissimi, aucune accentuation des sifflements sur les terminaisons de

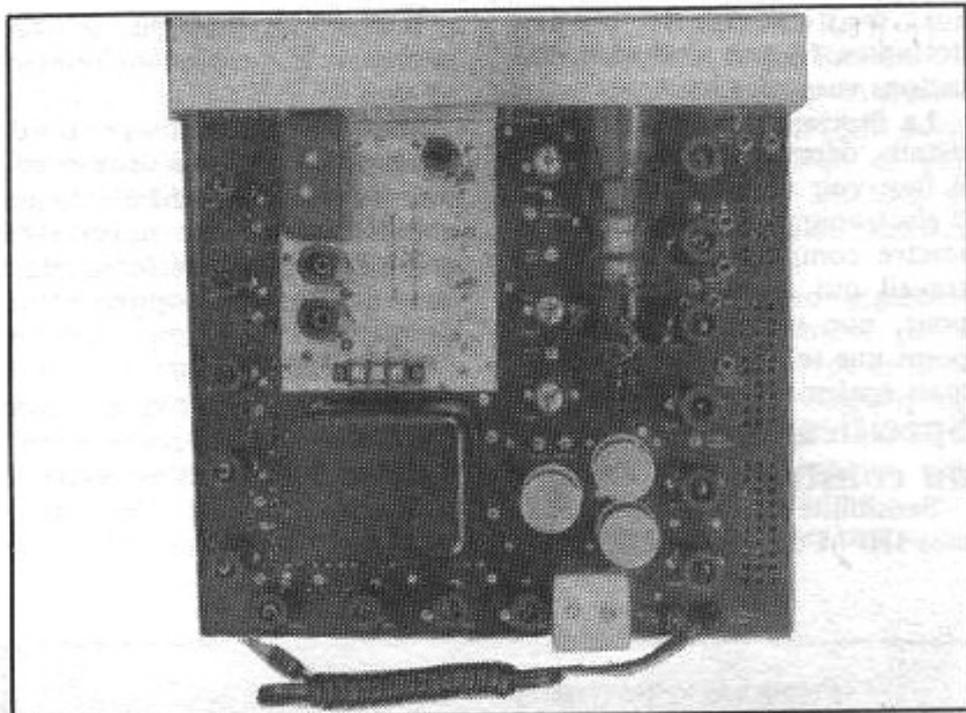
se superposer des pointes de modulation en provenance de la station voisine. Il faut, à cet égard, se reporter aux conditions de réception de la fin des années 60 où, rappelons-le, pour la France il n'y avait que trois émetteurs FM qui « se battaient en duel » : France 1, France 2 et France 4 (ce dernier correspondant à France Musique et étant le premier à émettre en stéréophonie). Or, depuis le début des années 80, le « paysage » audio a bien changé en FM et, dans les grandes villes de France, on assiste même à une « vraie pagaille » au niveau de la distribution des fréquences d'émission qui nécessite de la part des tuners une sélectivité très élevée pour ne pas être en permanence dérangé par les bruits divers en prove-

nance des stations adjacentes.

Sur le 10 B, conçu aux USA à une époque où déjà les stations FM étaient très nombreuses sur le continent nord-américain, les problèmes de sélectivité étaient très pointus à résoudre. Autre paramètre important : nous n'avons pas constaté de dérive de l'accord au bout de quelques heures, le 10 B, bien qu'à tubes et sans contrôle automatique de fréquences, se bloque sur une station avec une parfaite stabilité.

Si on compare le 10 B avec d'autres tuners de la fin des sixties, tel que le Mac Intosh MR 67 à tubes, on peut constater que l'image stéréo est beaucoup plus large avec le 10 B et surtout plus profonde, avec une notion d'aération générale plus évidente. Le MR 67 semble donner un peu plus de chaleur et de niveau dans le grave, le 10 B étant plus rapide sur les transitoires avec un aigu d'une propreté incroyable.

Le Marantz 10 B était proposé en 1967 à 6 550 F, il coûtait plus du triple d'un préampli 7 C



Vue de dessus du tuner 10 B. On remarquera le tube cathodique de l'oscilloscope ainsi que le très grand nombre de tubes utilisés.

(1 990 F) ainsi que d'un 8 C, la platine SLT 12 se trouvait autour de 2 750 F.

A l'heure actuelle, le 10 B représente une merveilleuse pièce de collection. Le très grand nombre de tubes ne doit pas effrayer l'éventuel acquéreur, il faut faire attention à l'état du tube oscil-

loscope et à l'alignement correct (et très peu de personnes sont capables à l'heure actuelle d'effectuer ce type de réglage).

A nos yeux et à nos oreilles, il a une place privilégiée au panthéon des matériels sans compromis : un véritable chef-d'œuvre d'électronique haute fréquence.

AUDIOTOP

LA HIFI PASSION

- HIFI ET AUDIO-VISUEL DE QUALITE
- ENCEINTES EN KIT
- ENCEINTES ET SYSTEMES AUDIO-VISUELS INTEGRES SUR MESURE

Point écoute Cabasse.

Kit haut de gamme : FOCAL, TRIANGLE, DAVIS, mono ou multi-amplifié.

AUDIOTOP - 14, avenue Maréchal Joffre
68100 MULHOUSE - Tél. 89.66.12.69

« ACCORD » l'autre façon de choisir.



dans le cadre séscontracté, calme et confortable d'une ancienne "demeure" toulousaine, vous pourrez écouter et comparer à loisir et avec autant de soin des matériels de "prestige" ou modestes, sélectionnés pour leur musicalité.

2, chemin de la Rivière (dir. Saint-Caprais)
31790 Saint-Jory - Tél. : 61.35.57.33

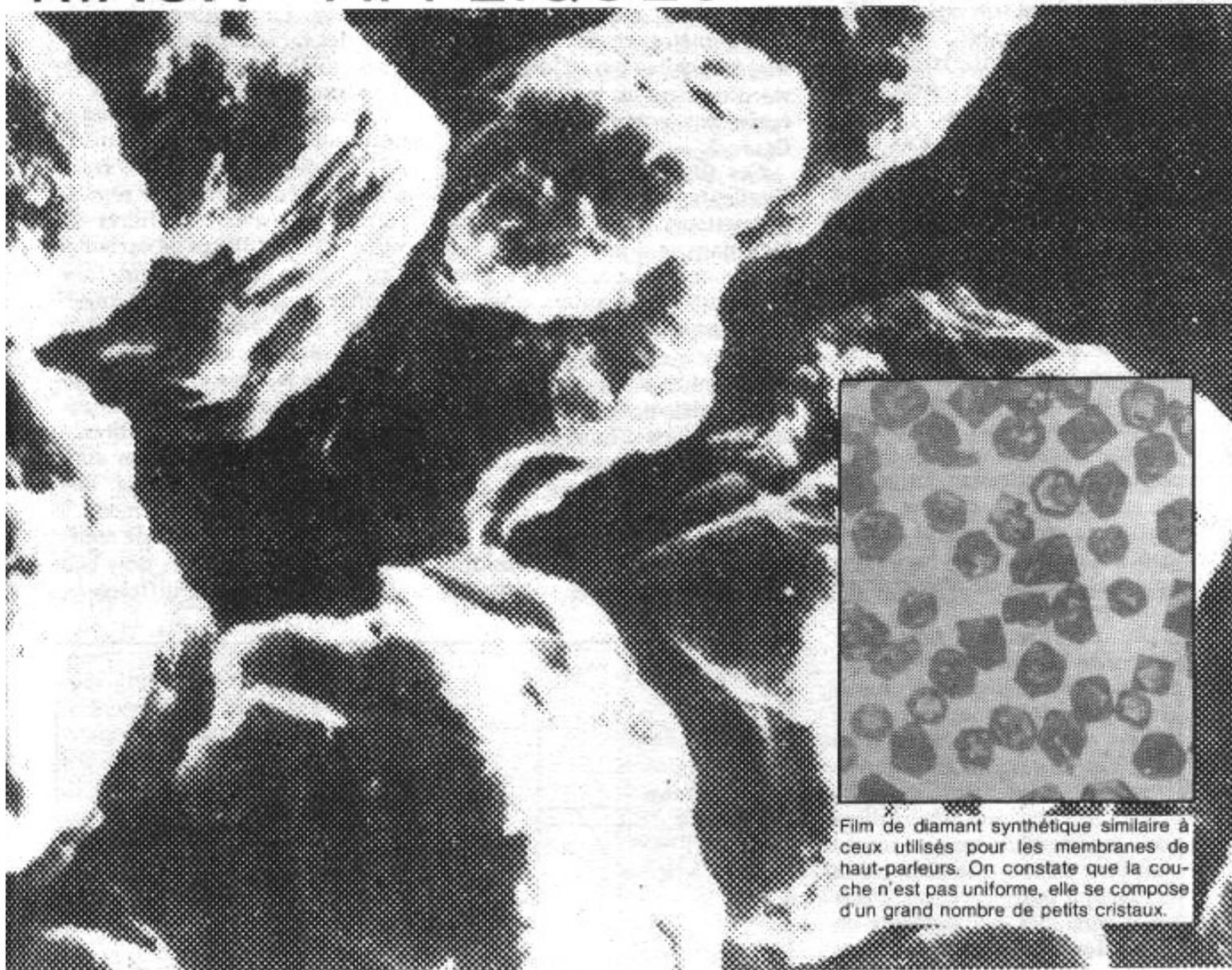
**Page non
disponible**



Jean-Paul Biberian

Dans la première partie de cet article, parue dans le numéro précédent, nous avons passé en revue les différents aspects de la physique de base des matériaux : thermodynamiques, cristallographie, réactivité, permettant de comprendre les mécanismes à l'origine de leurs propriétés. Nous avons vu que ceux-ci n'étaient pas parfaits et présentaient des points faibles qui limitaient leurs applications. Ce qui caractérise les nouveaux matériaux par rapport aux anciens, c'est leur haut degré de non-équilibre thermodynamique. Ils sont fabriqués dans des conditions très éloignées des conditions ambiantes, ce qui en fait des matériaux instables. Ils sont donc à la fois très performants, mais très difficiles à réaliser.

RIAUX APPLIQUES A L'AUDIO



Film de diamant synthétique similaire à ceux utilisés pour les membranes de haut-parleurs. On constate que la couche n'est pas uniforme, elle se compose d'un grand nombre de petits cristaux.

Nous allons voir maintenant comment faire pour optimiser l'emploi des matériaux en leur faisant subir des traitements spécifiques qui leur confèrent les propriétés souhaitées pour les applications audio. Nous allons passer en revue la majorité des éléments constitutifs d'une chaîne Hi-Fi et nous mettrons en relief les propriétés des matériaux utilisés. Nous verrons les raisons des choix faits et les limites physico-chimiques.

1. Les enceintes acoustiques

Il semble intéressant de commencer par cet élément, car ici

intervient plus qu'ailleurs le paramètre mécanique. Dans un haut-parleur, on veut transformer un signal électrique en un signal acoustique et ce, avec une bande passante de 20 kHz et une dynamique de 90 dB, ces contraintes sont beaucoup plus critiques que ce qu'il apparaît au premier abord, surtout pour un équipement non professionnel. La membrane du haut-parleur doit transmettre fidèlement les mouvements produits par l'électroaimant. Elle doit être légère pour ne pas créer d'inertie qui s'opposent à l'excitation de la bobine qui produirait un déphasage variable avec l'amplitude et la fréquence du signal, ce qui

détruirait évidemment la qualité de la reproduction. La membrane doit cependant être rigide pour ne pas se déformer au cours du fonctionnement et apporter des distorsions inacceptables. Ce compromis est difficile à réaliser mais, récemment, il a été possible de fabriquer des membranes de haut-parleurs recouvertes d'un film de diamant. Nous avons vu dans la première partie que le carbone avait deux structures cristallines : la structure diamant avec un atome de carbone à chaque sommet d'un tétraèdre, c'est-à-dire une pyramide à quatre faces et un atome au centre, et la structure graphitique en forme de feuillet hexagonaux.

La première est très rigide, difficilement déformable, c'est une forme quasiment triangulée comme toutes les structures métalliques rigides : grues, ponts, la Tour Eiffel. Par contre, la deuxième est tendre, à cause de la structure en feuillets qui, comme une pâtisserie bien connue, se détruit facilement sous contrainte mécanique.

Malheureusement, la difficulté consiste à fabriquer des films de diamant. Jusqu'à très récemment, on ne savait produire du diamant synthétique que dans des presses à très haute pression qui simulaient ce qui se produit naturellement au centre de la terre car, comme nous l'avons vu précédemment, le diamant est instable dans les conditions habituelles de température et de pression.

De nombreuses tentatives avaient eu lieu pour fabriquer du diamant synthétique à basse pression. Récemment, une équipe soviétique a réussi à le faire par une méthode connue sous le nom de « dépôt plasma ». Dans une telle réalisation, on introduit un gaz contenant du carbone, par exemple le méthane, à basse pression, c'est-à-dire quelques millièmes de la pression atmosphérique, dans une enceinte close où règne un champ électrique alternatif (voir figure 1). Les électrons entourant les molécules de gaz sont secoués par le champ électrique et s'en détachent. On se retrouve alors dans le quatrième état de la matière : le plasma, où électrons et molécules ionisées coexistent. C'est ce qui se produit dans le soleil et, plus près de nous, dans les tubes fluorescents. Ces espèces chimiques ionisées sont plus actives que les molécules de gaz neutres. Elles atteignent la surface d'une des électrodes produisant la décharge électrique et forment une couche qui, dans certaines conditions, est du diamant. Les films ainsi obtenus sont très minces, de l'ordre du

micron, c'est-à-dire un millième de millimètre, et discontinus, ce sont de petites pyramides jointives d'environ un micron de base également, comme montré sur la figure 2.

Ces films ne sont pas encore excellents, mais ils semblent très prometteurs pour l'avenir, aussi bien dans le domaine des membranes de haut-parleur que pour de nombreuses autres applications industrielles.

En ce qui concerne les membranes plus traditionnelles utilisées actuellement, il est clair que les conditions d'humidité ont un grand rôle à jouer car, même si elles sont recouvertes d'une couche de protection, celle-ci se craquelle au fur et à mesure du fonctionnement et l'humidité peut pénétrer dans le volume du

matériau. La membrane humide aura des caractéristiques mécaniques différentes de celles des membranes sèches.

Une alternative intéressante à l'utilisation des films de diamant est l'emploi de matériaux composites. Ceux-ci sont en général formés soit avec des fibres de verre, soit des fibres de carbone. Ces fibres noyées dans une matrice sont extrêmement anisotropes, c'est-à-dire n'ont pas la même réaction mécanique dans le sens de la fibre et perpendiculairement à la fibre. Les propriétés mécaniques des membranes de haut-parleur fabriquées ainsi peuvent donc en théorie être excellentes. Malheureusement, il existe une quasi-infinité de matériaux composites et les possibilités de chacun sont différentes.

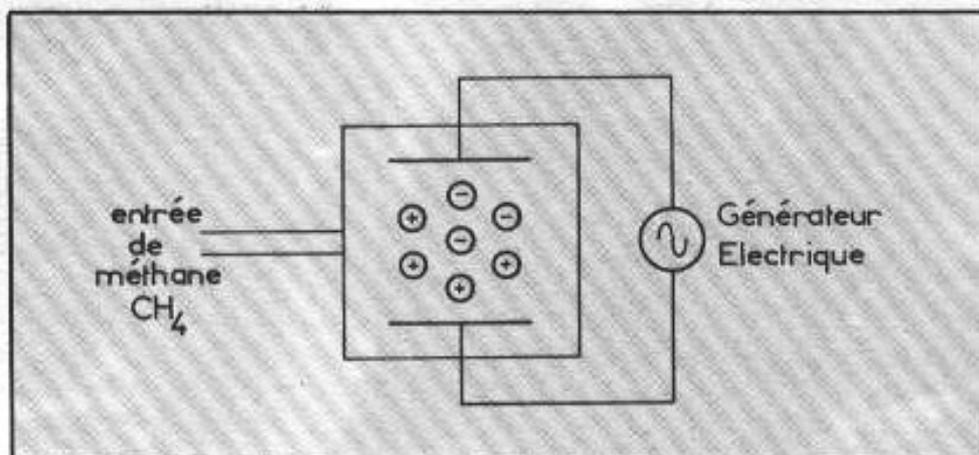


Fig. 1 : La méthode du dépôt plasma pour la réalisation de diamants synthétiques. L'ionisation d'un gaz tel que le méthane s'accompagne sous certaines conditions du dépôt de diamant sur l'une des électrodes.

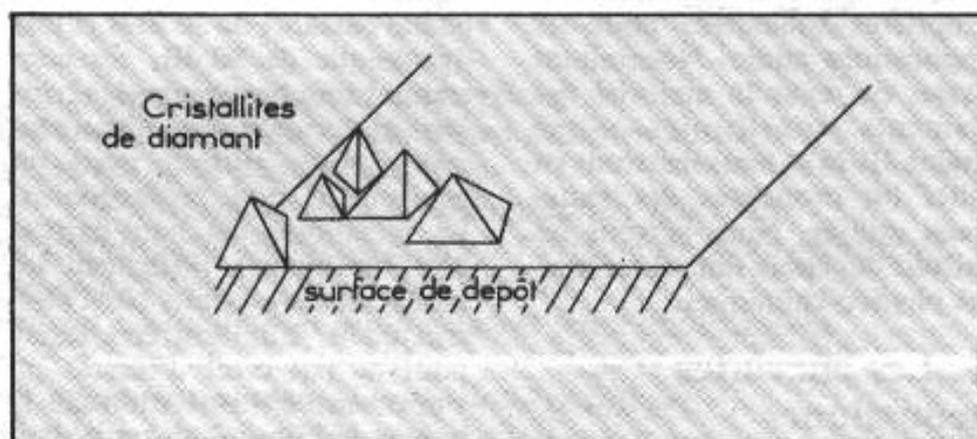


Fig. 2 : Les films de diamant synthétique sont extrêmement minces, de l'ordre du micron, et constitués de petites pyramides jointives de diamant.

On doit être très prudent, mais c'est une solution prometteuse.

2. Les composants passifs

Nous avons vu qu'une chaîne Hi-Fi était composée d'éléments passifs et actifs. Nous allons tout d'abord passer en revue les premiers qui sont principalement les résistances, condensateurs, bobines, transformateurs et fils de connexion.

2.1. Les résistances

Il en existe de différents types : bobinées, en couches minces métalliques ou carbone. Le passage du courant électrique dans ces composants a différentes conséquences.

Dans les résistances bobinées, l'effet secondaire produit est selfique, la résistance a un comportement de bobine et sa valeur varie avec la fréquence. Particulièrement pour les résistances de puissance, où le courant qui circule est important, il se produit un échauffement et par conséquent, comme nous l'avons vu, une évolution plus rapide de la structure du fil qui la constitue.

Avec le temps, et surtout à haute température, la taille des grains va varier, l'oxygène de l'air ou la vapeur d'eau ambiante vont réagir avec le métal pour former en surface et aux joints de grain un oxyde isolant. Cette couche d'oxyde a un double effet : d'une part une augmentation de la valeur réelle de la résistance car l'oxyde est moins conducteur que le métal et d'autre part un effet capacitif puisqu'une couche isolante très mince comprise entre deux cristaux métalliques forment un condensateur. La résistance va donc avoir en plus de l'effet selfique secondaire connu initialement mais constant, un effet capacitif qui évoluera au cours de l'utilisation. Ces effets ne sont pas du tout négligeables puisque, dans certains cas on aboutit à la destruc-

tion complète du composant.

Une autre cause d'accélération de ce processus est la ségrégation de surface. Les résistances sont composées d'alliages métalliques dont la composition précise est importante, or, sous l'effet de la température et de l'oxydation que nous venons de voir, un des éléments de l'alliage peut diffuser plus rapidement qu'un autre à l'interface entre les joints de grain. La constitution du fil n'est donc plus uniforme et la résistance change de valeur et ce, indépendamment du phénomène lié à l'oxydation. La figure 3 montre cet effet de ségrégation et d'oxydation pour les fils constituant les résistances.

La situation est la même ou presque avec les résistances en couches minces. Dans ce cas,

l'effet selfique est quasi-inexistant puisqu'il n'y a pas de bobinage. Par contre, l'effet d'oxydation et de ségrégation est accentué car le film de couche mince est obtenu par des techniques de dépôt qui créent de nombreux défauts dans la couche. Probablement les couches au carbone sont-elles moins sensibles aux effets de l'oxydation que les couches métalliques, mais elles sont quand même sujettes aux problèmes de modification de la taille des grains. Les couches de carbone ont une structure graphitique qui, comme nous l'avons vu, est anisotrope aussi bien mécaniquement qu'électriquement. La résistance au passage du courant n'est pas la même dans le sens des feuillets et dans celui perpen-

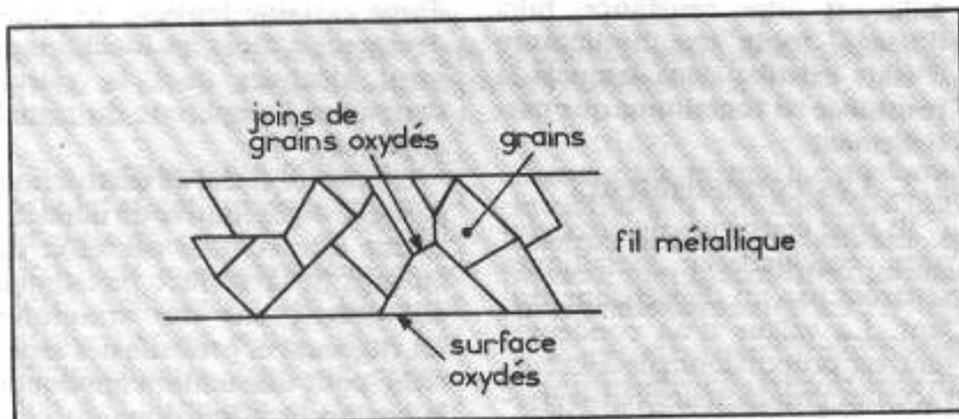


Fig. 3 : L'effet d'oxydation et de ségrégation en surface et aux joints de grain altèrent les caractéristiques du fil constituant les résistances bobinées. A noter que dans le cas des résistances à couche, des phénomènes semblables se produisent.

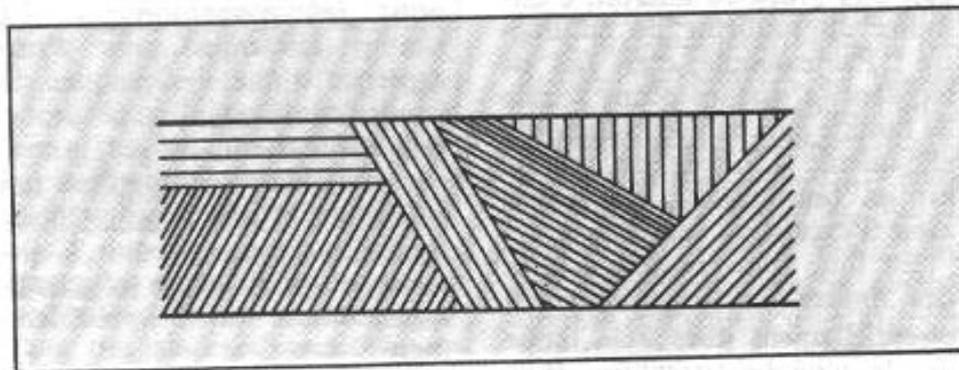


Fig. 4 : Cas d'une résistance à couche carbone. Au cours du temps, le nombre et donc la taille des cristallites de graphite varient, s'accompagnant d'une variation de la résistance de contact entre cristallites. La résistance au passage du courant n'est pas la même dans le sens des feuillets de graphite ou perpendiculairement.

diculaire au feuillet. Dans un cristallite de graphite, le courant va donc s'écouler dans le sens des feuillets. A la jonction avec un autre cristallite forcément orienté différemment par rapport au précédent, se produit une rupture des plans cristallographiques et le courant passe moins facilement. La résistance de contact entre cristallites joue donc un rôle important. Si, au cours du temps, le nombre et donc la taille des cristallites varient, la résistance totale du film changera. La figure 4 montre comment la variation de taille des cristallites de graphite va changer la résistance du film.

Nous venons de voir que bien que ce soient des éléments passifs, les résistances évoluent avec l'usage. Entre une résistance neuve aux caractéristiques nominales et une résistance hors d'usage, toute une déclinaison d'états existent dans lesquels la résistance ne fonctionne que partiellement.

2.2. Les condensateurs

Ils sont constitués de deux plaques conductrices métalliques séparées par un diélectrique isolant. La valeur d'un condensateur est proportionnelle à la surface des conducteurs et inversement proportionnelle à l'épaisseur de la couche isolante. On a donc développé des condensateurs très performants avec des couches diélectriques très minces, de l'ordre du micron, c'est-à-dire du millième de millimètre ! Par exemple, c'est fait en oxydant la surface d'une feuille de tantale puis en l'enroulant sur elle-même. L'oxyde de tantale est un bon isolant, on réalise ainsi d'excellents condensateurs.

En fait, tout condensateur a des limites de fonctionnement essentiellement dues à la tenue de la couche isolante. Plus l'épaisseur du diélectrique isolant est faible, plus le champ électrique appliqué entre les deux armatures du condensateur est

grand. La couche isolante n'étant pas parfaite, plusieurs effets se conjuguent pour détériorer ses qualités isolantes.

En premier lieu, des impuretés localisées à l'intérieur du film d'oxyde peuvent se déplacer sous l'effet du champ électrique et ainsi transporter du courant, alors qu'un condensateur est supposé ne pas en laisser passer. Ce courant de fuite change les caractéristiques nominales du condensateur qui dépendront de l'amplitude et de la fréquence du signal.

Si le courant transporté est important, le passage des ions par effet de champ pourra former un court-circuit réel, soit permanent, endommageant complètement le condensateur, soit sporadique, le court-circuit n'étant présent qu'au-dessus d'une certaine tension. Le condensateur a alors un fonctionnement aléatoire dont la valeur varie avec l'amplitude du signal appliqué.

Une autre cause de destruction partielle ou définitive du condensateur est produite par effet de champ. Si la surface métallique constituant une des armatures est rugueuse et présente des aspérités, pour une tension appliquée le champ local est d'autant plus intense que la courbure de la surface est importante, c'est l'effet de pointe expliqué avec plus de détails dans L'Audiophile n° 4. Cet effet est utilisé couramment pour les paratonnerres. Le champ électrique près d'une aspérité d'une des plaques du condensateur étant plus important que le champ moyen, la couche d'oxyde isolante n'est pas suffisante et une rupture locale du diélectrique se produit. Celle-ci est soit permanente soit erratique comme décrit précédemment.

Une troisième cause de dysfonctionnement du condensateur est la structure de la couche d'oxyde isolante elle-même. Celle-ci doit en effet être uni-

forme car autrement des champs électriques importants apparaissent aux zones plus minces créant des conditions favorables au développement de problèmes identiques à ceux décrits précédemment. Egalement la composition de la couche doit être uniforme pour que de la même manière le champ électrique soit constant et ne crée pas de zones à champ anormalement élevé.

La figure 5 montre les trois types de détérioration du diélectrique décrits ci-dessus. Dans tous ces cas, entre un condensateur en parfait état et un autre détérioré, existent toutes les autres possibilités avec un fonctionnement défectueux.

2.3. Les transformateurs

Un transformateur est un élément constitué d'un bobinage primaire qui induit un champ magnétique variable guidé par un circuit magnétique. Ce champ magnétique créant dans un bobinage secondaire une tension alternative induite. Les matériaux interviennent ici à trois niveaux : le fil des bobinages, le circuit magnétique et l'isolation entre bobinages primaire et secondaire.

En ce qui concerne le fil du bobinage, les problèmes sont identiques à ceux décrits pour les résistances bobinées, nous ne reviendrons donc pas sur ce point.

Le circuit magnétique est en général constitué de plaques de fer doux imbriquées les unes dans les autres pour éliminer les courants dits de Foucault induits par le champ magnétique. Le circuit magnétique sert à faire circuler le champ magnétique mais pas les courants induits. C'est pour cela que l'on utilise des plaques de fer isolées électriquement mais pas magnétiquement, les unes des autres. Or, nous avons vu que plus le matériau avait de défauts plus il avait de la difficulté à laisser passer le courant. Un cas limite est celui où il

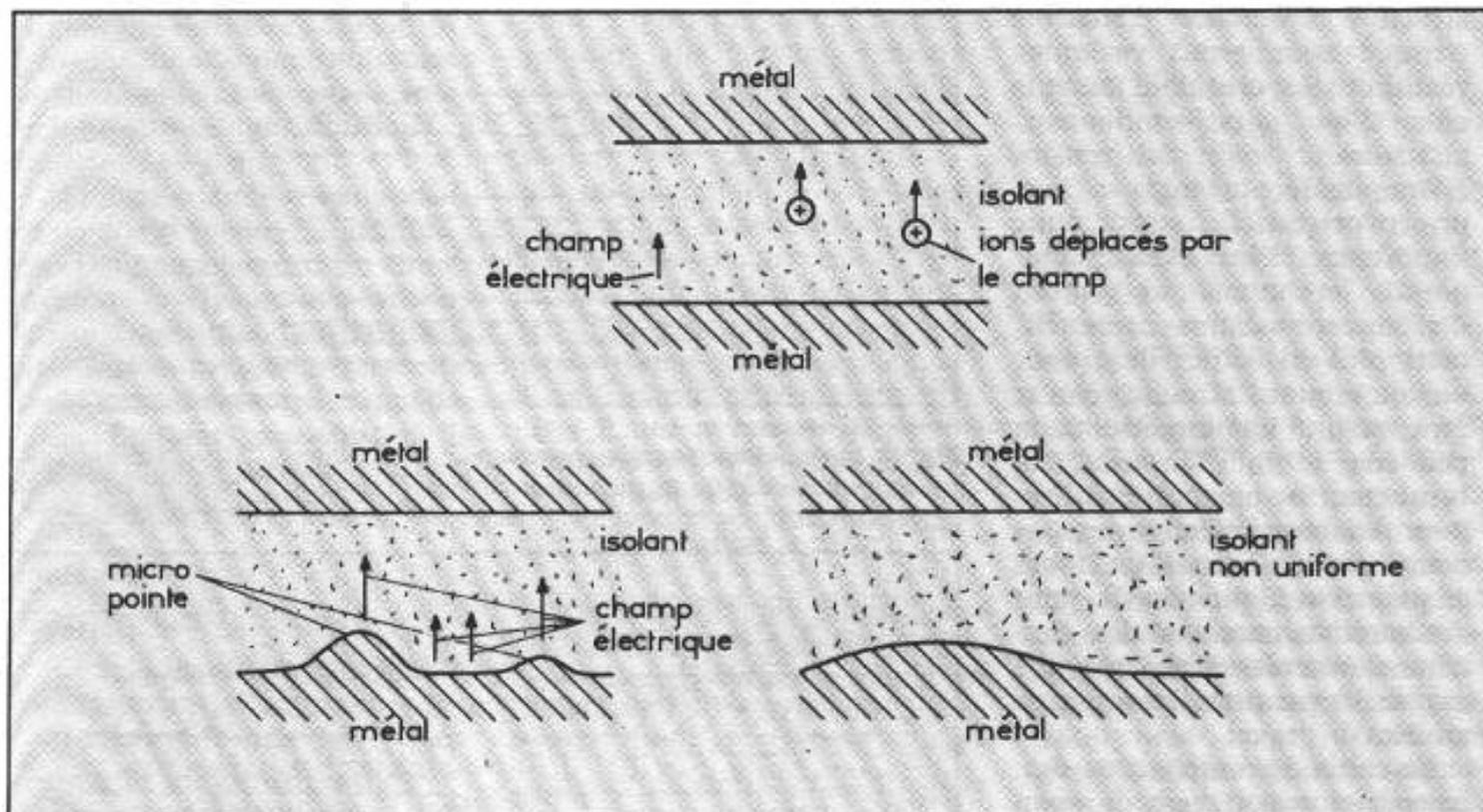


Fig. 5 : Les trois types de détérioration d'un diélectrique de condensateur : effet de court-circuit dû au passage d'ions, aspérités sur les armatures engendrant un effet de pointe, manque d'uniformité de la couche isolante.

n'y aurait que des défauts, c'est-à-dire sans structure cristalline. On connaît tout cela dans les verres qui sont fabriqués par refroidissement rapide de la silice. Si on refroidit lentement la silice, les atomes d'oxygène et de silicium ont le temps de se réorganiser et de prendre une structure cristalline. Par contre, si le refroidissement est rapide, on obtient une structure désordonnée, amorphe : un verre. Aussi surprenant que cela puisse paraître, dans le cas des métaux, on produit toujours une structure cristalline. Ce n'est que très récemment que l'on a pu fabriquer des verres métalliques en faisant une hyper-trempe, avec un refroidissement de plusieurs millions de degrés par seconde. La figure 6 montre une vue schématique d'un verre à deux dimensions. Ces verres métalliques conduisent mal l'électricité et sont donc utilisés pour la fabrication de circuits magnétiques de transformateurs.

Le dernier point où interviennent les matériaux dans les transformateurs est celui de l'isolation dans le même bobinage et entre bobinages. Les fils sont isolés par un vernis, mais des microcoupures peuvent engendrer des claquages et des fuites électriques.

2.4. La connectique

Elle intervient à deux niveaux,

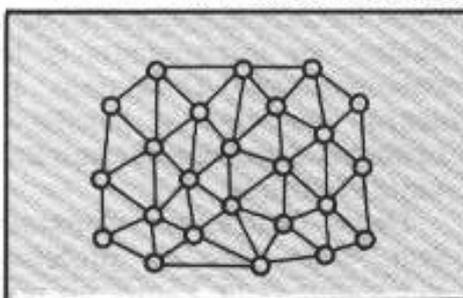


Fig. 6 : Vue schématique d'un verre métallique, l'absence de structure cristalline ordonnée s'accompagne d'une très mauvaise conduction de l'électricité tout en ayant d'excellentes qualités magnétiques. Ce nouveau type de matériau est donc particulièrement intéressant pour la réalisation de circuits magnétiques de transformateurs.

d'une part interne, c'est-à-dire les liaisons à l'intérieur de chaque élément de la chaîne, et d'autre part externe avec les liaisons entre éléments.

A première vue, il semblerait que le meilleur choix soit celui du câble de connexion de gros diamètre et bon conducteur afin de diminuer au maximum la résistance du fil. Il n'en est rien pour plusieurs raisons. Tout d'abord le courant continu et le courant alternatif ne se comportent pas de la même manière. Plus la fréquence du courant est élevée, plus le courant a tendance à circuler à la surface et non pas dans le volume du conducteur. C'est pour cela que l'on utilise de préférence des câbles multi-brins qui, pour une section globale donnée, présentent un maximum de surface par rapport au volume. La réponse en fréquence d'un câble dépend de sa structure.

On peut descendre un degré en dessous et voir l'influence de la

structure cristalline elle-même puisque nous avons vu qu'en réalité chaque cristallite jouait le rôle d'un micro-conducteur, relativement isolé des autres. L'orientation, la taille de ces micro-cristallites sont donc importants. Plus ceux-ci sont grands et moins ils auront d'effets secondaires capacitifs, mais plus ils seront de grande section et plus l'effet de peau se fera sentir. La solution étant peut-être le fil multibrins, les brins étant les plus fins possible, pour diminuer l'effet de peau, et constitués de cristallites longs alignés dans le sens du fil, pour diminuer le parcours des électrons et éviter les effets capacitifs et résistifs parasites des joints de grains.

Le choix du matériau est également important, tant du point de vue de la résistivité que de celui de la réactivité du métal : la facilité à former des oxydes est un handicap sérieux car l'oxyde qui se localise en surface et aux joints de grain augmente les effets capacitifs.

La figure 7 montre une vue schématique d'un conducteur idéal fabriqué en or, car c'est un très bon conducteur de courant, et inerte aux gaz ambiants tels que l'oxygène.

2.5. Les contacts

C'est une des sources de problèmes les plus grands en électricité et en électronique. Nous avons vu en détail les difficultés à réaliser des bons conducteurs, que ce soit pour en faire des résistances, des transformateurs ou des câbles de connexion. Le contact est la calamité trop souvent ignorée en électronique analogique et pourtant si connue en digital. De temps en temps, il fallait réappuyer sur les circuits et mémoires des Apple II pour qu'ils fonctionnent normalement. Heureusement, mais en réalité malheureusement il n'en est pas de même avec l'analogique car la panne n'est pas fran-

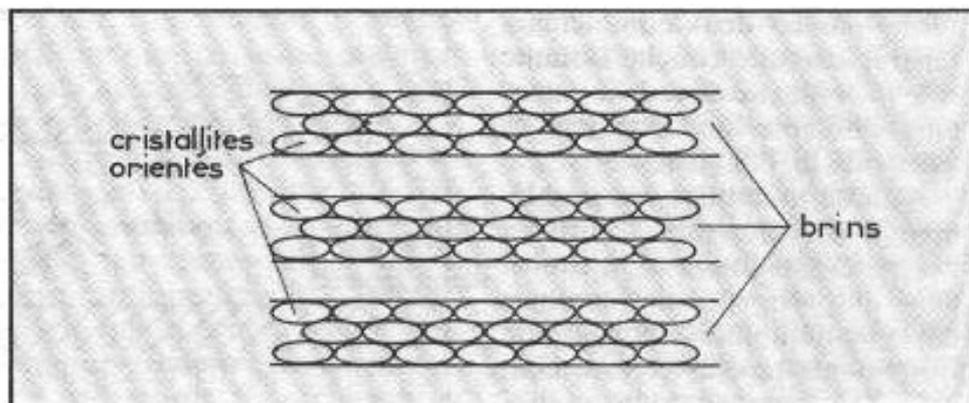


Fig. 7 : Vue schématique d'un conducteur idéal... en or ! Structure multibrins pour diminuer l'effet de peau avec de longs cristallites orientés pour limiter l'effet capacitif, en or pour s'affranchir des problèmes d'oxydation.

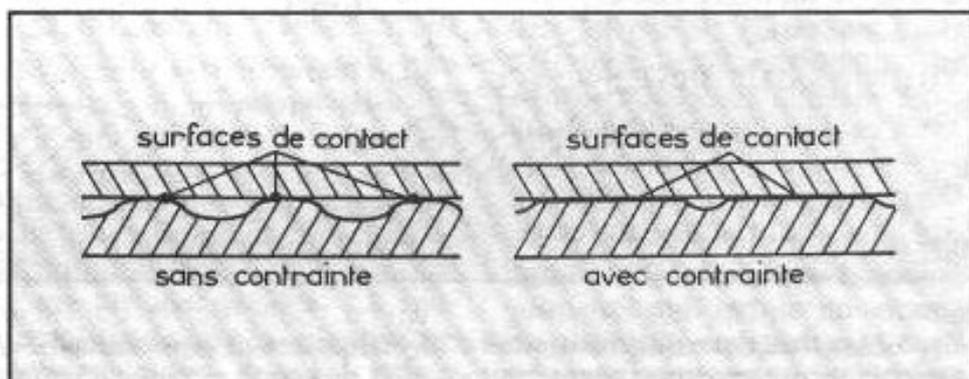


Fig. 8 : La qualité d'un contact du point de vue mécanique implique une surface de contact la plus grande possible. Il est donc essentiel que l'une des surfaces soit déformable afin d'augmenter la surface de contact sous l'effet d'une contrainte.

che, il y a simplement dégradation de la qualité.

Les contacts sont présents partout ; le composant sur support : transistor, circuit intégré, tube à vide, les connecteurs internes reliant différentes cartes de circuit imprimé entre elles. Les prises et fiches reliant extérieurement les différents éléments de la chaîne, les interrupteurs et les commutateurs. Dans tous les cas, le problème est le même : comment faire une bonne continuité électrique.

Deux contraintes apparaissent, d'un côté un problème mécanique et de l'autre un problème de constitution du matériau.

Du point de vue mécanique, on veut une surface de contact la plus grande possible entre les deux parties. Il faut donc qu'au moins une des pièces soit élastique pour épouser la forme de l'autre. Mais ce n'est pas suffi-

sant car les surfaces en contact ne sont pas exactement identiques, chacune présente des micro-aspérités qui font que la liaison ne se produit pas sur toute la surface espérée mais seulement sur une petite partie, en limitant ainsi la véritable surface de contact. Il faut donc qu'au moins une des deux pièces soit aussi déformable, soit à cause de la nature du matériau, soit parce que les pièces sont soumises à une forte pression, par exemple avec une vis de serrage. La figure 8 montre comment les matériaux se déforment sous l'effet de la contrainte.

Du point de vue de la réactivité, il s'agit d'éliminer au maximum les effets d'oxydation de surface qui forment une couche isolante, à la fois résistive, capacitive et de redressement. L'effet résistif provient de la forte résistivité des oxydes métalliques, l'effet capacitif du condensateur

formé par les deux conducteurs séparés par une couche isolante et le phénomène de redressement est semblable au détecteur à galène de la T.S.F.

Afin de minimiser ces problèmes, il est préférable d'utiliser des matériaux inertes. On choisit donc de préférence des contacts dorés inaltérables. Cependant les frottements répétés créés à chaque branchement-débranchement finissent pas arracher la couche d'or de surface, enlevant ainsi la couche de protection.

3. Les composants actifs

Ce sont les diodes, transistors, circuits intégrés et tubes à vide.

3.1. Les semi-conducteurs

Les semi-conducteurs sont spécialement sensibles à de nombreuses agressions qui vont des rayons cosmiques qui créent les paires d'électrons-trous non souhaités aux effets de la température qui favorise la diffusion des impuretés savamment dosées pour obtenir les caractéristiques souhaitées. Nous ne pouvons pas, dans le cadre de cet article, passer en revue tous les problèmes de matériaux des semi-conducteurs car ils sont beaucoup trop nombreux. Ces types de composants étant très complexes et fabriqués dans des conditions très éloignées de l'équilibre thermodynamique. En particulier, l'effet de la température est important. Un composant qui chauffe s'use plus vite.

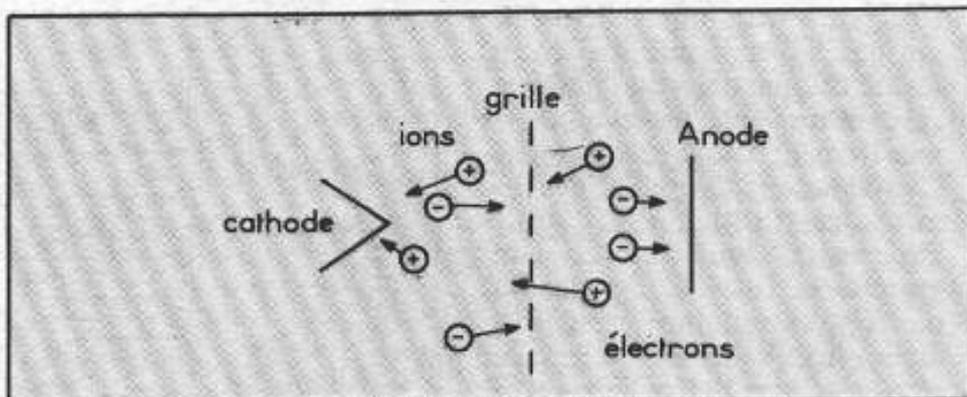


Fig. 9 : Le mécanisme de pulvérisation cathodique dans les tubes à vide s'accompagne d'un dépôt métallique conducteur sur la surface du tube et détériore l'isolement.

3.2. Les tubes à vide

De leur côté, les tubes à vide ne sont pas exempts de problèmes de matériaux. Le vide n'est pas absolu et les électrons qui se déplacent de la cathode à l'anode ionisent au passage des molécules de gaz qui se chargent positivement. Sous l'effet du champ électrique, les ions suivent un trajet inverse de celui des électrons et viennent bombarder la cathode. Ce bombardement ionique arrache des atomes à la surface de la cathode, qui se déposent dans l'ensemble du tube, en particulier sur les isolants. Le film métallique créé finit par éventuellement court-circuiter l'isolant et empêche le fonctionnement correct du tube. La figure 9 décrit ce mécanisme de pulvérisation cathodique.

4. Conclusion

Au cours de cette série de deux articles, nous avons examiné d'une manière qualitative la

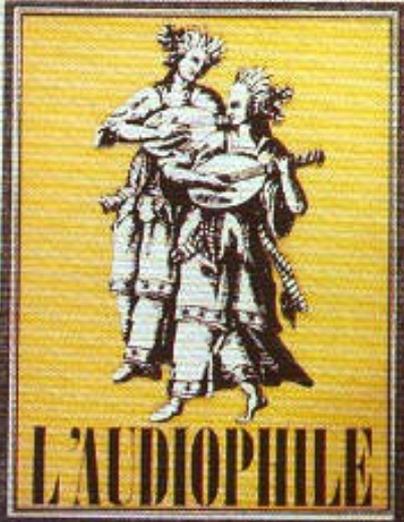
structure des matériaux en général et en audio en particulier. Ceci n'est évidemment pas exhaustif mais constitue une tentative d'expliquer certains phénomènes connus et aussi de proposer des idées directrices d'explications d'autres phénomènes. Il n'y a pas ici de vérité absolue ni d'estimations d'ordre de grandeur. Peut-être que certains des phénomènes abordés sont totalement négligeables, mais peut-être pas, les explications sont très difficiles à trouver en audio !

Je voudrais simplement signaler que j'ai pris un grand plaisir à essayer d'entrer dans un domaine dont je ne suis pas spécialiste, l'audio, avec l'œil d'un spécialiste d'une autre branche, les matériaux. Cet exercice périlleux est cependant très enrichissant pour moi. Si j'ai pu vous apporter un éclaircissement sur un seul point, ma mission aura été remplie, sinon dommage... mais ça valait la peine d'essayer. Merci.

ABONNEZ-VOUS A L'AUDIOPHILE
HAUTE FIDELITE PLUS!

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**



Command

- Power
- Standby
- Operational
- Power
- Power On
- Power Off
- Power

Select

Wadia Digitalink 30
HIGH QUALITY DIGITAL LINK

Wadia Digital 2000
EXCELLENCE IN AUDIO

septembre 1989

LES MUSES D'OR

au convertisseur Wadia Digital 2000

Gérard Chrétien



En juin dernier, lorsque notre jury se réunit afin d'examiner les possibilités de Muses d'Or sur les produits récemment introduits sur notre marché, nous étions quelque peu sceptiques.

Très peu de produits satisfaisaient à l'exigence qui préside à l'attribution de notre ultime récompense. Laquelle, rappelons-le, consiste en une innovation technologique apportant un « plus » marquant au plan de l'écoute.

Nous avons, bien sûr, pensé au convertisseur Wadia, étrange machine hybride entre supercalculateur et maillon audio. Encore fallait-il que l'écoute nous enthousiasme les uns et les autres pour valider une telle débauche d'ingénierie.*

Quelques instants suffirent pour mettre tout le monde d'accord, tant la surprise fût grande...

** Wadia Digital Corporation est une firme américaine, division de Medea Ltd, impliquée dans de nombreux aspects des technologies numériques, plus particulièrement celles ayant trait aux communications. Son fondateur, F. Moses Wadia, développa son premier projet audio dès 1927...*

L'évolution des techniques mises en œuvre dans le domaine numérique appliqué à l'audio apporte des progrès marquants en terme de qualité d'écoute, cela de manière réellement significative depuis moins de deux ans. Il apparaît, après une période de gestation dont les débuts remontent désormais à près de dix ans, que la prise en compte de phénomènes jugés il y a encore peu d'années comme annexes, voire du nième ordre, permet d'obtenir des progrès considérables au plan qualitatif.

Nous observons là une progression qui n'a plus lieu de nous étonner dans un secteur aussi complexe que celui de l'audio. La mise en application de toute nouvelle technologie en audio passe inévitablement par une phase préliminaire qui s'avère après coup « réductrice ». L'explication d'un tel état de fait peut très bien, à notre sens, se formuler comme suit :

— Première étape, l'émergence d'une nouvelle technologie susceptible d'apporter des solutions novatrices aux problèmes inhérents à la restitution sonore motive des firmes désireuses de se démarquer en mettant de nouveaux produits sur le marché. Dans cette première étape, les cahiers des charges sont définis sur la base des critères objectifs connus censés cerner les exigences classiques du traitement d'un signal musical : réponse en fréquence, distorsion, dynamique, bruit...

— Seconde étape, la mise sur le marché des produits utilisant cette technologie nouvelle est suivie de la réaction des milieux professionnels, distribution, presse, d'une part et du public d'autre part. C'est à ce niveau seulement qu'il est possible de dire avec certitude si ce produit apporte l'innovation escomptée en termes de coût vis-à-vis de la concurrence, cela en regard de la qualité procurée par la mise en application de la technologie

choisie.

— Troisième étape, celle de la maturité, où des problèmes nouveaux découlant de la technologie choisie sont pris en compte et résolus suite aux critiques des plus exigeants, des audiophiles, en matière d'écoute essentiellement. Puisqu'en audio, plus que dans tout autre domaine, la mise en évidence d'un défaut, d'une altération, découle de l'observation subjective. Ce n'est qu'après que des méthodologies d'observation objectives sont mises en œuvre pour tenter d'apporter les explications à la « mesure » des constats découlant de l'écoute.

Le processus s'applique, à quelques variantes près, à toutes les étapes marquantes de l'histoire de la haute-fidélité : micro-sillon en stéréo, amplificateur à transistors, transducteurs au niveau des membranes en particulier... sans compter avec les composants, les câbles, la connectique, les alimentations... Autant de domaines où la conviction et le désir d'absolu des audiophiles ont forcé les plus grands industriels à prendre en considération des phénomènes

non dominants jugés épiphénomènes, même si la science actuelle ne pouvait en apporter une explication formelle.

Le numérique n'échappe pas à la règle, loin s'en faut. Lorsque Philips et Sony établirent leur standard CD, remarquable à plus d'un titre, il faut le reconnaître, il apporta immédiatement de nombreux plus. Force est de constater que le « niveau de restitution moyen » a largement progressé grâce à lui. Pourtant les audiophiles auront dû attendre près de dix ans avant d'être pleinement satisfaits par cette nouvelle technique et cela, grâce à leurs critiques, parfois acerbes, du début. Et c'est tant mieux car il était loin d'être évident que le numérique, semblant figé dans un carcan mathématique, soit à même d'évoluer dans les limites du cadre du standard initial. C'était préjuger des ressources de l'intelligence qui ne cesse de transcender les multiples mutations technologiques que nous vivons.

Le filtre à pente raide

Le problème majeur du standard Philips de départ reposait



Le processeur/convertisseur.

sur l'emploi impératif d'un filtre à pente très raide ; afin de lisser le signal en sortie du convertisseur en forme de marche d'escalier pour retrouver le signal analogique en le débarrassant de ce que l'on appelle le « bruit de quantification », signal parasite intermédiaire entre de la distortion et du bruit. Ce bruit de quantification contient, comme son nom l'indique, beaucoup de signaux issus de la quantification et donc riches en haute fréquence et, en particulier, la fréquence d'échantillonnage et ses multiples. Les signaux ultra-sonores, sans corrélation directe avec le signal musical doivent impérativement être éliminés au risque de perturber gravement le fonctionnement optimal des préamplificateurs et amplificateurs, s'accompagnant de pertes et d'ajouts pernicieux d'informations erratiques par intermodulation.

La fréquence d'échantillonnage est toutefois très proche de la limite supérieure de la bande audio, il n'y a guère qu'une octave. Aussi le recours à un filtre de pente très raide s'impose. Malheureusement, dans la prati-

que, on est loin du filtre passe-bas idéal. En particulier au niveau de la phase, que l'on sacrifie en priorité à l'amplitude qui constitue un paramètre intouchable en termes de linéarité au plan marketing. Qui plus est, ces filtres, comme le notait Héphaïstos dans notre n° 4 p. 59, « sont en général conçus par des ingénieurs qui ne connaissent que les mesures classiques et qui utilisent force circuits intégrés dans des schémas scandaleux pour les audiophiles ». En effet, les dégâts occasionnés par de tels filtres sur des signaux transitoires sont sans commune mesure avec leur comportement en régime établi sur la base duquel ils ont été conçus.

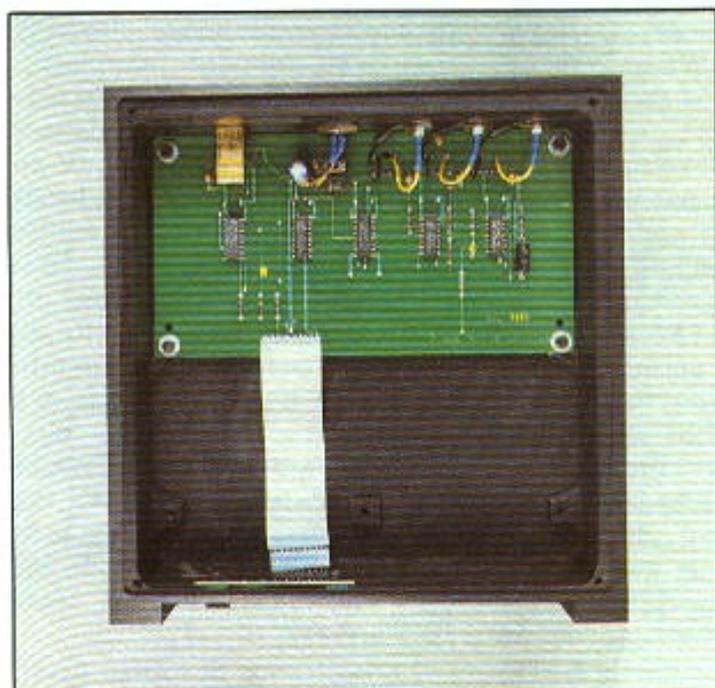
Certes, depuis les tout premiers lecteurs, des progrès majeurs ont été apportés par l'emploi d'un filtrage numérique précédant le convertisseur numérique-analogique associé à un suréchantillonnage. L'astuce consiste à simuler la réponse d'un filtre passe-bas idéal en calculant entre deux échantillons de signal d'autres échantillons, en nombre aussi élevé que possible. En pratique, on recalcule ainsi

trois échantillons, ou sept, ce qui multiplie la fréquence d'échantillonnage par quatre ou huit.

Le calcul mathématique de ces échantillons intermédiaires nécessite la connaissance des échantillons d'origine, non seulement passés et présents, mais aussi futurs. Il est donc nécessaire avant de calculer un nouvel échantillon par interpolation, d'attendre d'avoir reçu suffisamment d'informations. Ce qui introduit un retard d'autant plus important à gérer que le nombre de « suréchantillons » ajoutés est élevé, ainsi qu'une capacité de calculs conséquente pour traiter le signal en temps réel.

Sur le plan spectral, l'effet du suréchantillonnage consiste donc à multiplier les échantillons d'origine par des coefficients qui ne sont rien d'autres que les valeurs de la fameuse fonction en $\frac{\sin 2\pi\omega t}{2\pi\omega t}$ aux instants t . Cette

fonction correspond à la réponse impulsionnelle d'un filtre passe-bas idéal à pente quasi-infinie. C'est la réponse que l'on obtient sur les bons lecteurs ou les bons convertisseurs. De part et d'autre de l'impulsion, on



L'interface Digilink 30.



Le boîtier alimentations.

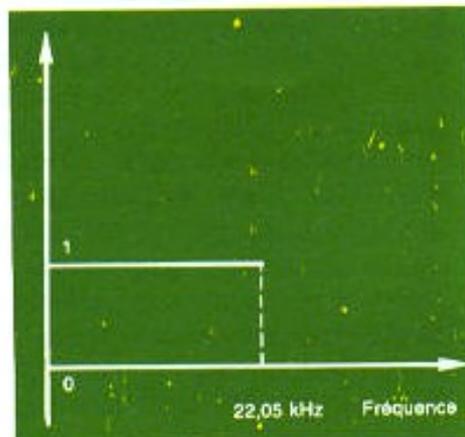
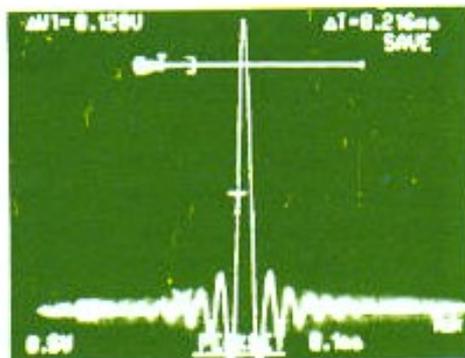


Fig. 1 : Réponse à une impulsion dans le temps et courbe de réponse en fréquence d'un filtre passe-bas mathématiquement idéal. La réponse impulsionnelle est en fait le graphe de la fameuse fonction $\frac{\sin 2\pi\omega t}{2\pi\omega t}$. A noter les suroscillations latérales inhérentes à ce type de filtrage.

retrouve une suroscillation amortie de fréquence moitié à la fréquence d'échantillonnage, soit 22,05 kHz, fréquence analogique maximale pouvant être reconstituée en théorie selon les termes du théorème de l'échantillonnage de Shannon.

Ces performances se rapprochant de l'idéal théorique dans le domaine fréquentiel sur la base d'un signal à enveloppe à énergie constante, sinusoïdal ou bruit blanc, sont celles sur lesquelles ont porté les critiques des ingénieurs de Wadia. Pour eux, de telles performances sont illusoirs sur un signal musical constitué d'une succession d'impulsions et de transitoires. Le concept du filtre à pente raide même lorsque son idéal théorique est atteint par le biais du filtrage

numérique et du suréchantillonnage ne peut convenir car il s'accompagne de dépassements et de suroscillations lorsqu'il s'agit d'un message à caractère transitoire tel qu'un signal musical. Ainsi, toute l'originalité de la démarche de Wadia a-t-elle été de reconsidérer le problème de façon à éliminer purement et simplement le filtrage à pente raide, bref l'approche en $\frac{\sin 2\pi\omega t}{2\pi\omega t}$ et cela sans lésiner sur les moyens comme nous allons le voir.

L'approche non filtrée de Wadia

L'essentiel de la philosophie de Wadia repose sur l'élimination du filtre à pente raide. Cette approche est résolument nouvelle dans le traitement numérique audio et va à l'encontre de la recherche de tous les constructeurs d'une réponse parfaite en $\frac{\sin 2\pi\omega t}{2\pi\omega t}$, laquelle est, répétons-le, synonyme de filtre passe-bas idéal à pente infinie sur un signal à enveloppe à énergie constante.

Pour contourner le problème, Wadia a choisi une solution hautement sophistiquée faisant appel aux technologies informatiques les plus évoluées. Le signal numérique sur le Wadia 2000 est suréchantillonné 64 fois.

Un algorithme dénommé Frenchcurve, développé par Wadia (couronné par un Award de l'IEEE), fait appel à une fonction polynomiale du 12^e ordre prenant en compte à chaque fois un jeu de 13 échantillons originaux afin de définir par calcul la courbe contour la plus précise possible passant par chacun des échantillons. Ensuite un autre jeu de 13 échantillons est considéré et ainsi de suite... L'intégralité de la courbe est ainsi recalculée, ce qui équivaut à un suréchantillonnage de 64 fois (fig. 2). Un signal de 8 kHz comportera 353 escaliers/cycle

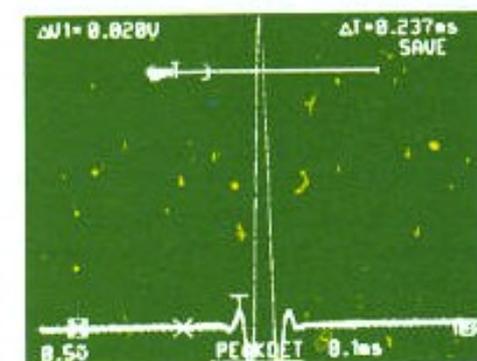
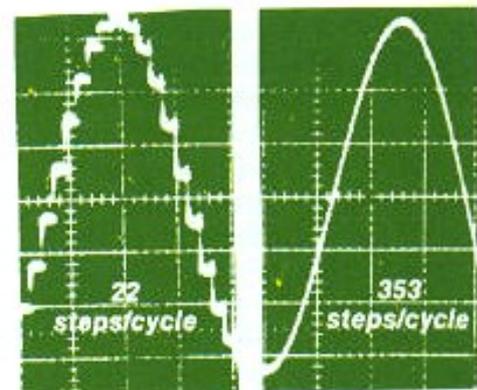
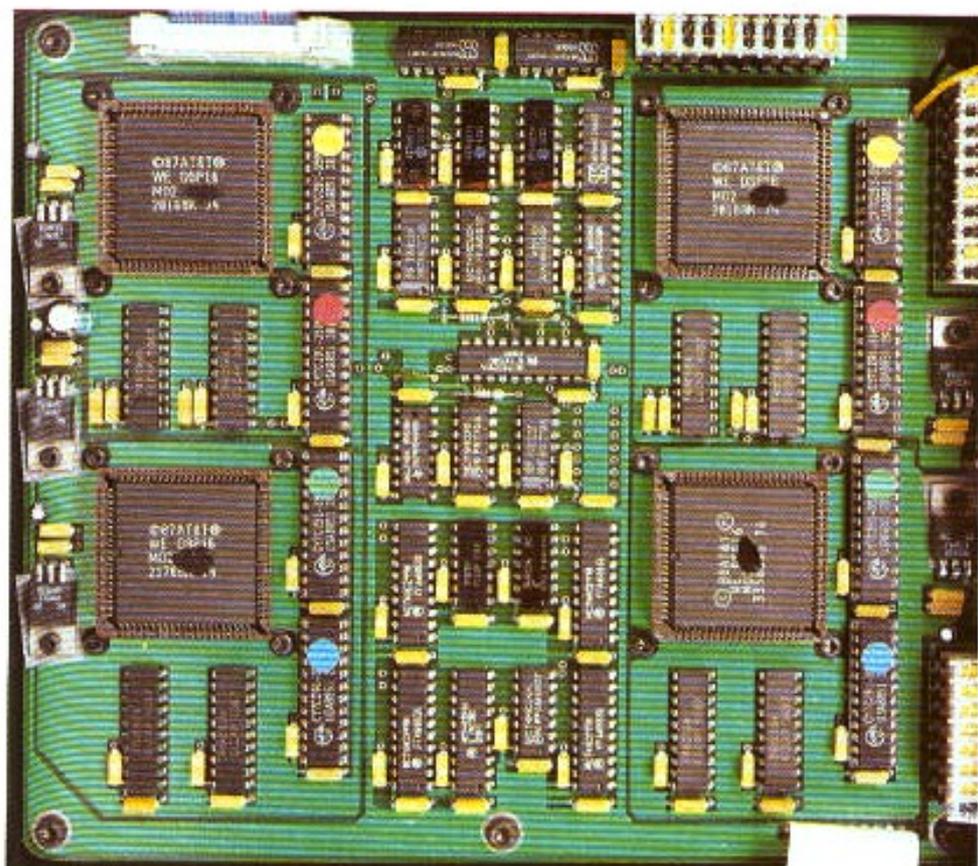


Fig. 2 : Forme d'un signal de 8 kHz suréchantillonné 4 fois comportant donc 22 valeurs par cycle à gauche, comparée à la forme du même signal suréchantillonné 64 fois soit 353 valeurs par cycle à droite. La différence se passe de commentaire. En bas, la réponse impulsionnelle du Wadia ; les suroscillations latérales ont disparu !

au lieu de 22 pour un suréchantillonnage à 4 fois. Cela sans les erreurs d'interpolation associées au suréchantillonnage classique associé au domaine fréquentiel. L'algorithme de calcul « Frenchcurve » est, lui, optimisé dans le domaine temporel, il découle du polynôme de Lagrange. La bande de bruit se trouve ainsi rejetée très loin jusqu'à $64 \times 44,100 = 2.822400$ Hz, soit près de 3 MHz, donc bien au-delà des bandes passantes de préamplificateurs ou d'amplificateurs et a fortiori des zones de non-linéarités qui peuvent s'étendre jusqu'à plus de 1 MHz. Ce qui est loin d'être le cas avec un suréchantillonnage à 4 fois (176 400 Hz) et même à 8 fois (352 800 Hz) (fig. 3).

La puissance de calcul nécessaire pour effectuer ce traitement



en temps réel (plus de 3 millions de conversions/sec.) est démentielle : 72 Mips (million d'instructions par seconde).

Une puissance de calcul phénoménale

Pour situer les choses, une telle puissance de calcul équivaut à une centaine de micro-ordinateurs PC IBM. A titre indicatif, un des micro-ordinateurs les plus puissants à l'heure actuelle, le Deskpro

386/25 de Compaq a une puissance qui tourne autour de 4 Mips. Le haut de gamme des ordinateurs, des leaders tels que Digital Equipment, Hewlett Packard, Data General, n'ont une puissance que de moitié de celle du Wadia 2000 !

L'exploit réalisé par Wadia est de taille et c'est là, justement, par l'apport d'une maîtrise des techniques informatiques les plus avancées appliquées au traitement d'un signal musical que

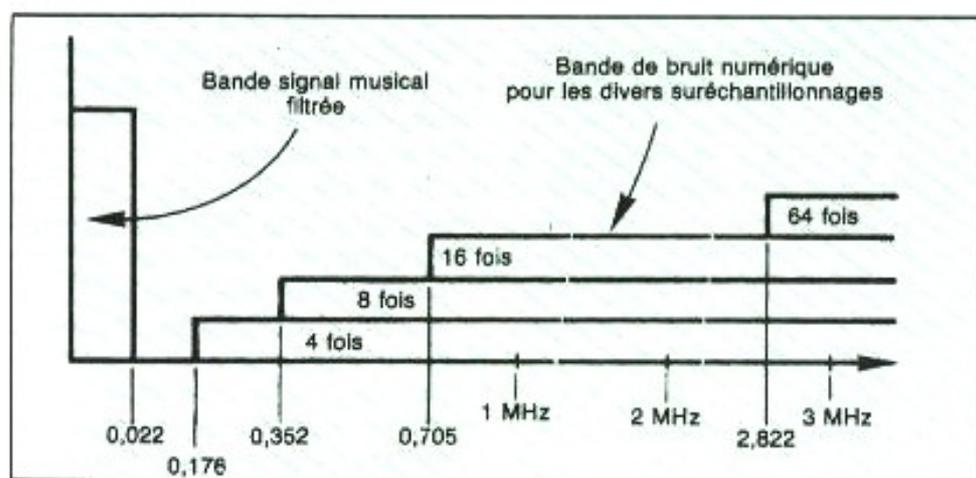


Fig. 3 : Positionnement en fréquence des bandes de bruit pour diverses valeurs de suréchantillonnage vis-à-vis du spectre musical.

se situe la réelle innovation. Sans cette surprenante maîtrise, aux yeux de plus d'un informaticien, toute la théorie développée par Wadia ne serait restée que joyeuse utopie mathématique. Cette prouesse est d'autant plus édifiante si l'on considère le coût. Sur le marché américain, il y a un an, lorsque le Wadia 2000 a été introduit, le coût du Mips était de 5 000 dollars, Wadia l'a fait descendre à 100 dollars ! Des chiffres qui laissent songeurs et interrogatifs. Certes, le Wadia 2000 n'est pas un ordinateur proprement dit, c'est néanmoins un calculateur spécifique « decoding computer » équipé de circuits d'entrée/sortie très élaborés. Aussi la performance est-elle de taille.

L'architecture du calculateur du Wadia 2000

Il n'y a pas de mystère : pour obtenir une telle puissance de calcul, Wadia fait appel à une architecture de calculateur directement issue des techniques utilisées dans les supercalculateurs en ayant recours à des architectures de machines non plus séquentielles mais parallèles : ce sont des machines dites multiprocesseurs, c'est-à-dire qui comportent plusieurs processeurs fonctionnant en parallèle et qui appliquent le principe du pipe-line au niveau de chaque processeur (fig. 4). La première de ces machines fut le célèbre Cray 1, commercialisé en 78. Comme on le voit, de par les choix retenus, le Wadia 2000 s'apparente plus à un calculateur qu'à un convertisseur tel qu'il est d'usage de le définir en audio.

Ainsi, le CPU (Central Processing Unit), qui est le cœur du Wadia 2000, utilise quatre DSP (Digital Signal Processing) fabriqué par AT&T qui sont actuellement les chips les plus rapides du moment. Ils fonctionnent en parallèle à 36 MHz et procurent

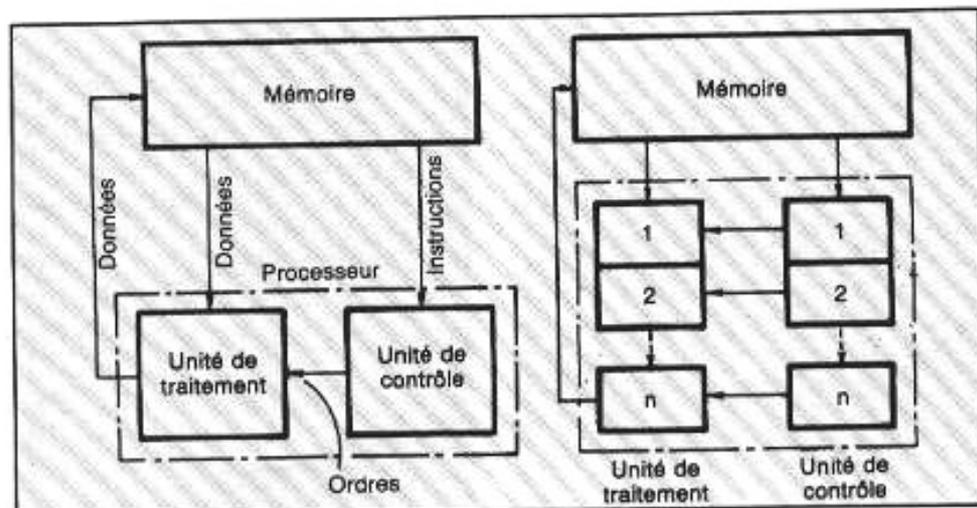


Fig. 4 : A gauche, le modèle de base de l'ordinateur séquentiel qui est le plus largement répandu. Il est constitué d'une mémoire et d'un processeur, lui-même formé d'une unité de contrôle et d'une unité de traitement. L'unité de contrôle lit dans la mémoire les instructions du programme à exécuter et donne des ordres à l'unité de traitement. Celle-ci effectue alors les opérations nécessaires sur les données, stockées elles aussi dans la mémoire.

A droite, le mode pipe-line conserve la même structure mais les unités de contrôle et de traitement y sont découpées en étages, chargés chacun d'une partie des opérations à effectuer. Le flot de données est donc continu et la vitesse de calcul s'accroît avec le nombre d'étages (1).

Pour aller encore plus loin, comme dans le cas du Wadia 2000, on a recours à une architecture parallèle où la structure entière est dupliquée plusieurs fois car ensuite le gain en vitesse de calcul est limité par des problèmes d'accès à la mémoire.

(1) Les lecteurs désireux de mieux comprendre les architectures des calculateurs des années 90 peuvent se reporter au numéro spécial de La Recherche de novembre 88, « Les nouveaux ordinateurs ».

l'incroyable puissance de calcul de 72 Mips. Les opérations sont exécutées en 36 bits mathématiques et 8 mémoires à grande vitesse EPROM (Electrically Programmable Read Only Memory) renfermant le logiciel de décodage Frenchcurve (deux pour chaque DSP). Ces mémoires sont montées sur support afin d'autoriser une adaptation aisée à d'autres programmes de décodage ultérieurs.

A noter que l'architecture RISC (machine à jeu d'instructions réduit) qui marque la grande tendance pour les années à venir en matière de calculateurs de forte puissance, n'a pas été retenue par Wadia pour des raisons de coût. L'idée de base des machines RISC est que la simplicité du langage machine engendre une simplicité de la structure matérielle et, par voie de conséquence, une puissance de calcul

très importante. Les architectures RISC et AS (Application Specific) retenues par Wadia, constituent sans conteste les choix les plus payants en termes de puissance, pour les calculateurs des années 90.

Les convertisseurs numérique-analogique

Élément-clé en matière de qualité d'écoute, le convertisseur numérique-analogique est sans doute le composant de l'électronique numérique qui marque le plus de son empreinte sonore la restitution (de par ses imperfections sans aucun doute, linéarité, précision, glitch...). Aussi n'est-il pas surprenant que l'essentiel des argumentations des constructeurs porte sur cet élément. Il convient de souligner un point : les fabricants de convertisseurs intégrés se comptent sur les doigts d'une main. Aussi, dans

la pléthore des lecteurs et convertisseurs CD et DAT du marché, retrouvons-nous pratiquement toujours les mêmes choix.

Dans le Wadia 2000, rien de tel, on ne retrouve pas les fameux petits chips en plastique noir. Deux imposants blocs rouges, en aluminium, chacun pesant plus d'1 kg, constituent les blocs convertisseurs développés intégralement par Wadia.

Il va de soi que pour tirer pleinement partie du traitement numérique préalable du signal avec un suréchantillonnage de 64 fois, le convertisseur se devait d'avoir un régime de conversion de plus de 2,8 millions conversions par seconde.

Il s'agit de convertisseurs ultra-linéaires 18 bits de type transversal, « multiport à sommation » à ligne à retard numérique, caractérisés par une parfaite réponse en signaux rectangulaires en sortie.

Il fait appel à deux circuits monolithiques large bande à Fet, montés sur un même substrat afin de garantir des spécifications parfaitement identiques pour effectuer la conversion courant-tension. Fonctionnant à 2,8 millions de conversions/seconde (3,07 millions dans le cas d'un DAT), le temps d'établissement est le paramètre le plus critique en regard de l'extrême précision recherchée. Ainsi aucun des amplificateurs opérationnels intégrés ne pouvaient être utilisés (5534, OP 27/OP 37...) pour des raisons de vitesse. Les composants retenus sont en fait des composants haute fréquence.

Compte tenu de ces divers choix, les « raffinements » utilisés dans les circuits de conversion plus conventionnels tels que circuits antiglitch, échantillonneur-bloqueur en sortie n'ont plus lieu d'être, évitant par là même toutes les colorations inhérentes aux effets de mémoires diélectriques associées aux condensateurs employés dans de

tels circuits.

Les sorties, symétrique et asymétrique, sont directement reliées en sortie de convertisseur sans passer par aucun circuit buffer. Ainsi les problèmes très critiques de l'étage analogique de sortie rencontré dans la quasi-totalité des lecteurs CD et des convertisseurs sont-ils purement et simplement éliminés de fait. Seule contrainte : avoir une liaison blindée au préamplificateur courte (n'excédant pas 1,5 m) et une impédance d'entrée de ce dernier suffisamment haute (47 k Ω -100 k Ω).

A noter qu'un circuit automatique passif de deemphasis intervient si la source a été enregistrée avec un preemphasis.

Le circuit d'entrée Digilink 30

Cette unité est placée dans un boîtier séparé afin d'être électriquement totalement isolée du système de conversion. La liaison en sortie de ce circuit et le boîtier convertisseur ne se faisant exclusivement que par liaison optique.

En entrée, le Digilink 30 offre la possibilité de sélection entre trois formats numériques : 32 kHz pour la réception satellite, 44,1 kHz pour le CD et 48 kHz pour le R-DAT. Les connecteurs d'entrée sont au standard coaxial 75 ohms. Aussi les lecteurs CD ou R-DAT susceptibles d'être reliés doivent-ils être équipés d'une sortie digitale coaxiale délivrant le signal numérique prélevé après les étages de correction d'erreurs (CIRC, Cross Interleave Reed Solomon Code) et avant le convertisseur N/A et ses circuits de filtrage associés dont le suréchantillonnage.

Le rôle de cette unité est de transformer le signal numérique électrique en un signal numérique optique. Le transmetteur d'origine AT&T utilise un laser à l'arséniure de gallium-

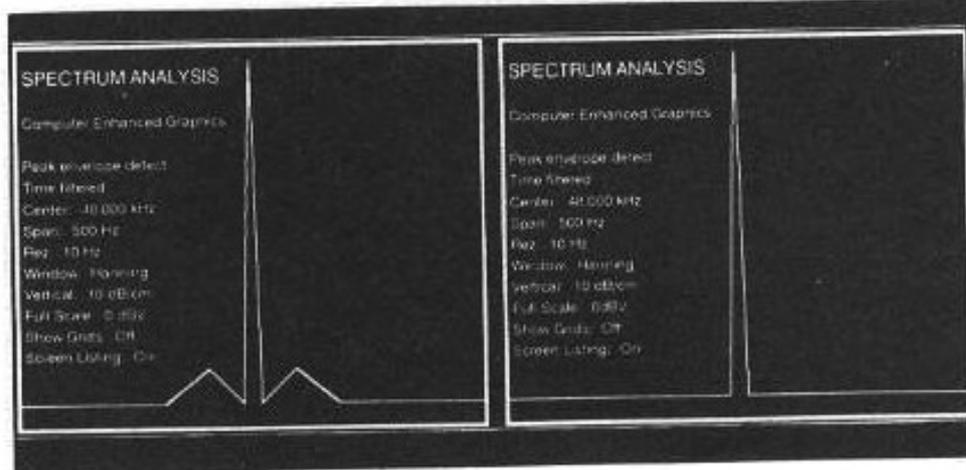


Fig. 5 : Analyse du spectre du signal d'horloge, ici 48 kHz. A gauche, ce signal est analysé après 30 m de câble symétrique dans un environnement électrique relativement bruyant. Format AES/EBU. On note de part et d'autre de la fréquence centrale deux bandes de bruit latéral (la mesure est effectuée sur plusieurs minutes) qui proviennent de problèmes de jitter, dégradation du slew rate...

A droite, le même signal analysé après 30 m de transmission par fibre optique utilisant le système d'encodage spécifique à Wadia dans les mêmes conditions. On note que les bandes latérales de bruit n'apparaissent plus. Les problèmes de jitter sont éliminés. A noter que dans le cas de transmissions optiques conventionnelles, le problème est identique à celui posé par les câbles coaxiaux dû à une atténuation du signal lumineux et une dégradation du slew rate.

aluminium (tels ceux utilisés pour la lecture dans les lecteurs CD). Le signal optique est dirigé aux travers d'un assemblage très précis de lentilles sur une fibre optique en verre de qualité professionnelle à indice de réfraction progressif de 62,5 μ m. Une telle connexion constitue une solution optimale pour la transmission de données numériques (plus de 50 Mégabits/sec. sur une distance de plus 3 km) et éliminant le fameux problème de jitter (fig. 5).

Du côté convertisseur, le module récepteur, lui aussi d'origine AT&T, utilise le même type de connecteur et une photodiode Pin. Aussi n'est-il pas possible de relier directement en liaison optique le lecteur CD au convertisseur. De même qu'aucune liaison coaxiale n'est-elle possible directement entre lecteur et convertisseur. Pour Wadia, il y a deux raisons majeures à ces choix élitistes concernant la liaison optique :

— les fibres standard rencon-

trées sur les produits audio sont des fibres plastiques de qualité médiocre ainsi que les modules transmetteurs (au niveau de la diode émettrice et des lentilles ; — concernant la liaison coaxiale, le fait de relier les masses s'accompagne d'une perte de 15 dB en rapport signal sur bruit du fait d'une réjection en mode commun bien moindre.

Il faut noter que Wadia Digital Corporation a beaucoup travaillé dans les domaines des communications. Aussi ses compétences particulières dans le secteur des liaisons optiques sont-elles issues de l'expérience (brevets pour 3M et Raytheon, ingénierie et installation d'un réseau câblé par fibre optique de plus 5 600 km).

Il était parfaitement logique que les « plus » apportés par la maîtrise de ce type de transmission soient appliqués au modèle 2000 afin de garantir un acheminement optimal des informations au processeur. On comprend ainsi beaucoup mieux que

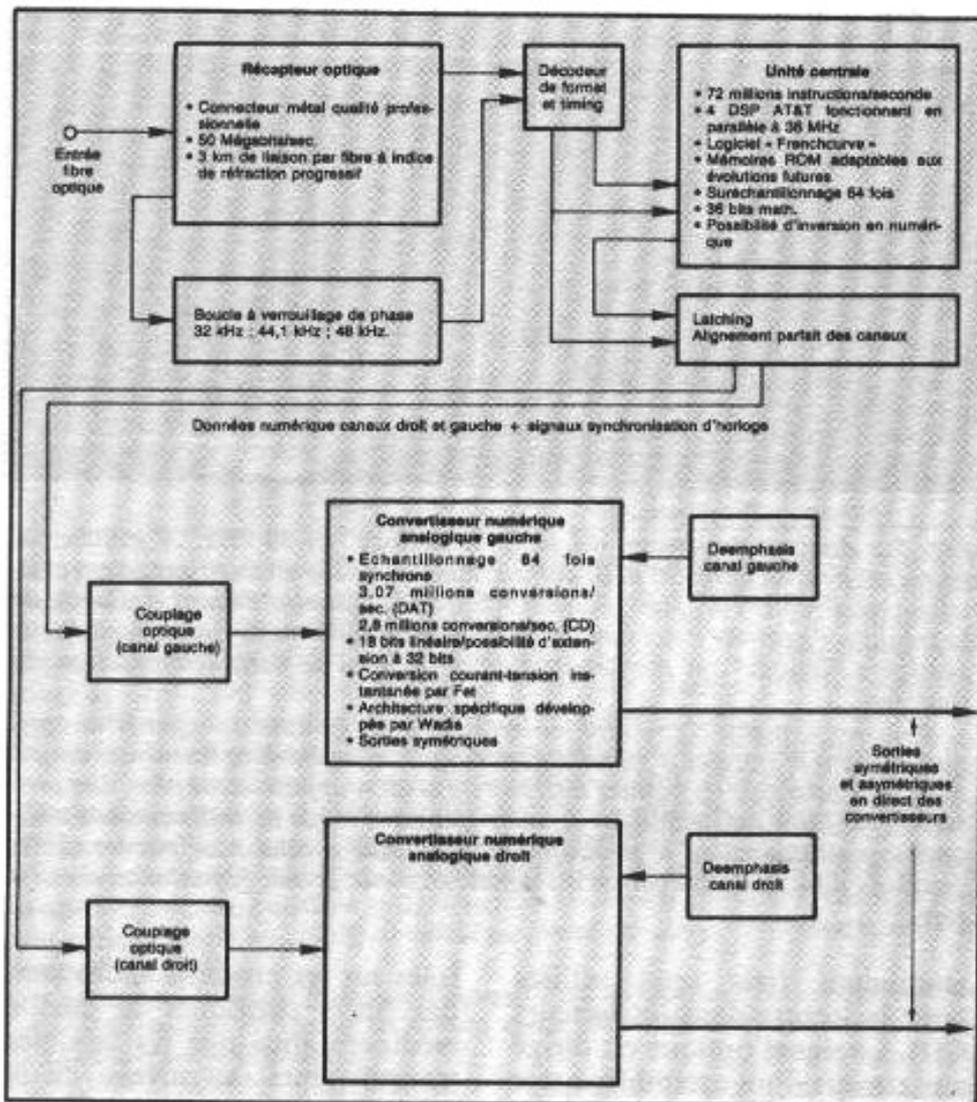


Fig. 6 : Schéma bloc de l'unité processeur de conversion. On trouve le circuit d'entrée de réception optique suivi de l'unité centrale à l'incroyable puissance de calcul de 72 Mips mettant en forme le signal avec un suréchantillonnage de 64 fois et évitant ainsi tout filtrage à pente raide. Enfin le convertisseur numérique analogique est directement relié sur les sorties.

les choix retenus se distinguent des solutions conventionnelles.

La réalisation d'ensemble

Comme nous l'avons vu, outre le boîtier processeur de décodage, un boîtier de liaison optique séparé assure la transmission des données numériques sans aucune liaison électrique. Un troisième boîtier renferme les diverses alimentations, cela pour assurer un parfait blindage aux champs magnétiques inhérents au transformateur d'alimentation et aussi pour assurer une parfaite stabilité thermique aux circuits de traitement du signal tel le convertisseur dont la pré-

sion en est directement dépendante.

Les transformateurs, étages de redressement et de filtrage ainsi que les circuits de régulation, sont indépendants pour chacun des deux canaux analogiques, c'est-à-dire pour les deux convertisseurs N/A. Trois autres alimentations isolées sont destinées aux circuits numériques et conçues dans un esprit haute fréquence.

D'apparence relativement conventionnelle, les boîtiers processeur et liaison optique sont cependant réalisés selon une technologie sans compromis : celle utilisée pour les coffrets d'ordinateur embarqués à bord

d'engins spatiaux. Ces coffrets en aluminium sont usinés dans la masse. Chaque intersection de paroi dans un boîtier électronique est un lieu de convergence très complexe où transitent et interfèrent des courants de masse, des courants de Foucault, des flux thermodynamiques... L'intégrité et l'homogénéité de la structure du châssis est un facteur subtil certes, mais important, en termes de performances. Performances que Wadia a voulu pousser au plus haut niveau, l'objectif étant une précision de l'ordre d'une fraction de microvolt. Les audiophiles ne seront pas surpris de tels raffinements, mieux ils seront rassurés de voir que dans d'autres secteurs aussi, tels l'informatique de pointe, la prise en compte de facteurs jugés secondaires s'accompagne de solutions lourdes a priori « anticommerciales » en termes de coût.

Un autre élément, très critique lui aussi, le circuit imprimé. Pour Wadia, il s'agit du composant passif le plus délicat, rien de bien surprenant compte tenu du spectre de fréquence traité. Tirant profit de son expérience dans des domaines très sensibles tels que les télécommunications, le militaire ou le spatial, Wadia a retenu des circuits multicouches très élaborés. Onze couches au total : 6 couches pour les liaisons inter-circuits, plan de masse et plan d'alimentation séparées par 5 couches de verre époxy de diverses épaisseurs afin d'optimiser la courbe d'impédance du circuit sur une très large bande (effet capacitif en haute fréquence).

Incontestablement, le Wadia 2000 marque une étape importante : par l'approche novatrice du traitement numérique, mais aussi par le choix des solutions retenues pour sa réalisation. Il est à noter que ce choix découle directement des technologies les plus avancées qui viennent apporter là leur contribution à

l'audio. Et quelle contribution, comme l'écoute va nous le montrer !

L'écoute

Christian Blérald

C'était donc vrai... Depuis bientôt six mois, le nom de Wadia défrayait la chronique. Ce décodeur devrait sans aucun doute possible (d'après son concepteur) réconcilier « enfin » les derniers irréductibles amateurs du bon vieux disque vinyl avec le « rugueux numérique ».

Il va de soi qu'à la lecture des performances annoncées de la dite « merveille », tous les doutes étaient permis et, à dire vrai, nous faisons, jusqu'à preuve du contraire, partie des sceptiques. Il va sans dire (mais cela va tout de même mieux en le disant) que nous étions extrêmement impatients de vérifier le bien fondé des dithyrambiques commentaires nous parvenant de diverses sources, notamment étrangères.

C'est la serviette autour du cou que je me suis (passivement) attaqué à l'écoute de ce « mets de roi », car c'est bien de cela qu'il s'agit... En effet, première constatation surprenante : on ne perçoit aucun côté spectaculaire, on est presque déçu, c'est en fait le parfait contraire de ce qui est souvent ressenti ; en général on est immédiatement sensible au « caractère » de l'élément écouté avant de découvrir ensuite de manière plus nuancée les défauts éventuels et les qualités mis à jour disque après disque.

Ici tout est calme et volupté, pourrait-on dire, surtout volupté, quel que soit le disque choisi, on retrouve enfin le moelleux auquel on était sensible avec l'analogique. Une mention tout à fait exceptionnelle doit être accordée au haut du spectre qui, par sa légèreté, sa chaleur, sa vivacité, sa faculté unique à filer très, très haut, incite à noter pour tous les autres convertisseurs écoutés jusqu'à présent : « peut mieux faire. » ! Car,

grâce à lui, on s'étonne de découvrir que des disques bien connus subissent incontestablement des pertes d'informations importantes provenant de la conversion N/A, car quel que soit le lecteur qui précède, même s'il s'agit d'une platine laser bon marché, les détails sont bien présents, permettant ainsi de recréer une notion de profondeur superbe qu'aucun autre convertisseur jusqu'à présent n'a été en mesure d'approcher.

Avec le Wadia 2000, le médium est tout simplement splendide de naturel avec une tendance rare à synthétiser dans l'espace les corps des chanteurs et les instruments d'une manière un peu holographique sans jamais — je dis bien : jamais — laisser percevoir le moindre vide entre les deux enceintes ; et cette notion ne peut être ressentie qu'à l'écoute de très grands systèmes de lecture type platine Thorens Reference, platine Verdier, etc., équipés de cellules de très grande classe.

Ecrasant également de supériorité sur le bas-médium, le Wadia nous fait découvrir un nombre considérable d'informations et ce, de façon nuancée, chaude avec beaucoup de corps et d'énergie. Je crois qu'en fait, jamais cette partie du spectre ne m'a paru aussi belle ; sauf peut-être une fois ou deux à l'écoute de bandes mères de studio. Cette fois-ci les « pauvres » 16 bits qui nous ont tant préoccupés par leurs limites se trouvent sublimés grâce au Wadia. Cet appareil est complètement réussi, bravo !

Tous les ingrédients nécessaires à la magie de la musique sont réunis car le Wadia 2000 offre à la fois détails, dynamique, une beauté de timbres qui semblait jusqu'à présent inaccessible et surtout un feeling unique faisant complètement oublier la technique au profit du flot de musique qui nous envahit tout entier.

Nous avons également écouté le Wadia 1000, moins onéreux et

malgré cela extrêmement proche de son aîné, ce qui le place d'office au dessus de la concurrence.

Les Wadia ont toutefois un « défaut », disons plutôt une petite lacune ; il y manque une prise casque. Quel dommage ! Je n'ose imaginer le résultat de l'association Wadia + casque Sony MDR-R10. Malgré tout, qu'il en soit pardonné, car le plaisir de réécouter sa discothèque est tel avec le Wadia que pour la première fois en ce qui me concerne le disque vinyl analogique semble incontestablement dépassé ! Paix à son âme ; il fallait bien que cela arrive un jour !

Gérard Chrétien

J'étais terriblement curieux d'écouter le Wadia 2000. Bien sûr, j'en avais eu des échos on ne peut plus élogieux en provenance de nombreux pays dont certains beaucoup plus critiques vis-à-vis du numérique et encore très attaché à l'analogique qu'on ne l'est en France. Cependant, ce qui forçait ma curiosité était d'un autre ordre : apprécier à l'écoute un produit élaboré par une firme inconnue dans le monde audiophile il n'y a guère plus d'un an et ayant recours à une approche résolument novatrice dans le domaine du traitement numérique appliqué à l'audio. Les solutions retenues découlent directement des nouveaux concepts de calculateurs et peuvent paraître a priori délirantes (72 Mips, vous réalisez !...)

C'est, à mon sens, la première tentative de produit commercialisé sortant délibérément du cadre des standards Philips/Sony qui régissent l'audio-numérique depuis sa création, cela avec des choix de composants résolument différents.

Aussi était-ce une occasion unique de mieux sérier les choses dans le domaine du numérique et de mieux discerner à quels niveaux, des évolutions, en termes de qualité, étaient encore

possibles. A ce sujet, le Wadia 2000 apporte une magistrale démonstration en creusant un véritable fossé par rapport aux convertisseurs les plus élaborés du moment ; lesquels reposent tous sur le même canevas à quelques variantes près, dans ce que l'on peut qualifier de détails, après avoir écouté le Wadia.

Ce qui dérange à l'écoute du Wadia, c'est qu'il puisse y avoir autant de pertes d'informations, de dégradations dans le signal numérique lors de son traitement dans les lecteurs et les convertisseurs du marché et cela quel que soit leur prix. L'atout numéro un du numérique, qui l'a fait investir la totalité des domaines du traitement du signal n'est-il pas de préserver le signal par une « immunité » aux parasites de tous ordres. L'écoute du Wadia sur ce plan laisse interrogatif tant l'écart est grand par rapport à tous ses concurrents. Il convient certainement d'y voir là une acuité toute particulière de notre système perceptif où bon nombre de critères échappent à toute analyse formelle.

L'apport du Wadia au plan subjectif ne peut se limiter au simple fait d'une extrême précision ou définition tant la globalité de la perception s'en trouve transformée. Le son est d'une extrême richesse associée à une fluidité et une aisance inhabituelle sur un système de restitution. La matière sonore est à la fois pleine, solide avec un extraordinaire volume : une impression d'air autour des instruments qui conservent des contours très précis. Les messages à caractère transitoire marqué sont impressionnants d'énergie et de corps, aucuns flottement ni « hésitation » ne suivent les attaques les plus vives. J'ai retrouvé par certains aspects la surprenante facilité rencontrée à l'écoute du casque Sony MDR-R10.

Certes, le coût d'un tel maillon pourra paraître élevé. Toutefois,

je reste surpris que de telles solutions aient pu être mises en œuvre à ce prix si l'on prend comme point de comparaison non pas l'audio mais l'informatique. Car nul doute, la phénoménale puissance de calcul rassemblée dans ce processeur est pour beaucoup dans l'immense plaisir que procure à nos oreilles le Wadia 2000.

Jean Hiraga

C'est avec beaucoup d'impatience que nous avons attendu l'arrivée de ce convertisseur ultra-sophistiqué dont le nom, pratiquement inconnu il y a quelques années, est devenu aujourd'hui le synonyme de ce que l'on sait faire de mieux dans ce domaine. Dans la course au suréchantillonnage, le Wadia 2000 détient le record mondial avec, aux mesures (signal carré, impulsion), une supériorité écrasante par rapport à la concurrence et ce, sans aucune restriction de prix. On sait de quoi sont composés le haut et le très haut de gamme actuel des convertisseurs séparés et des lecteurs CD sans convertisseur intégré. Le Wadia 2000 est le type même du produit réunissant tous les critères nécessaires à l'attribution des Muses d'Or. De nouveaux circuits intégrés ultra-puissants, encore jamais utilisés chez les concurrents (AT&T, Western Electric), un circuit imprimé d'une qualité fantastique (structure multi-couches avec plan de masse), un châssis taillé dans la masse et bien d'autres choses participent à une conversion N/A ultra-perfectionnée, pour ainsi dire « parfaite », du moins jusqu'à nouvel ordre. Il y avait jusqu'ici de très bons produits, ceux qui s'avéraient supérieurs à d'autre sur tel ou tel critère. Cette fois, le Wadia 2000 ne creuse pas vraiment ce que l'on pourrait appeler « un fossé » par rapport aux convertisseurs concurrents. Il semblerait mieux placé de parler ici de « gouffre »

tant l'écart semble important. Par expérience, on sait qu'un certain nombre de lecteurs CD dont la partie analogique est soit non filtrée, soit mal filtrée au-dessus de 20 kHz ont tendance à sonner mieux dans l'aigu que d'autres sur lesquels le filtrage analogique, beaucoup trop complexe, tend à rendre le son plus mat, plus sourd ou plus voilé. Aux mesures, ces lecteurs CD sont malgré tout pris en défaut et laissent apparaître des harmoniques de rang élevé, des pics et des signaux de type « marche d'escalier » dont l'incidence sur la qualité sonore n'est pas nulle.

D'un côté, on reconnaissait le gain en transparence, en définition dû à la simplification des filtres analogiques. De l'autre, on mettait en évidence des résidus de petites duretés dus au filtrage imparfait que l'on attribuait par erreur soit au procédé numérique même, soit à l'enregistrement (conversion A/N par exemple).

Le Wadia 2000 montre que l'on se trompait et que l'enregistrement numérique est en fait d'une très grande richesse et ne présente aucune dureté, aucun effet de « son plat » inhérent au principe numérique du format Compact-Disc. Un circuit aussi sophistiqué pourrait sembler n'être que le résultat de la folie passagère de puristes en Hi-Fi qui savent « jusqu'où ils peuvent aller trop loin ». On s'aperçoit en fait que ces efforts décuplent l'intensité du plaisir de l'écoute. On atteint ici le summum en matière de subtilités, de fluidité du message, de beauté et de véacité des timbres et bien entendu au niveau du pouvoir d'extraction des micro-informations. Il semble d'ailleurs inutile de s'étendre sur des éloges à n'en plus finir. Le mieux est de s'en rendre compte par soi-même en l'écoutant de préférence sur un système performant, ce qui rendra encore plus frappant l'écart par rapport à des systèmes plus conventionnels. Pour un amateur

même assez fortuné, le plus gros handicap reste le prix. Un prix qui est justifié (aucun constructeur n'avait osé utiliser jusqu'ici de circuits intégrés, de coupleurs et de câbles optiques aussi onéreux), mais qui devient vraiment élevé.

Pour ce qui concerne la liaison coaxiale avec le lecteur CD, il faut savoir qu'un bon câble coaxial pour cette utilisation transmettra près de 80 MHz de bande passante tandis qu'elle est limitée à 15 MHz environ sur les câbles optiques conventionnels prévus pour la même application. Ces écarts expliquent la venue récente sur le marché de plus de câbles optiques à hautes performances. Pour terminer, ajoutons que l'on pourra se consoler avec les autres versions Wadia, moins onéreuses, « presque » à la hauteur de la version 2000 mais, malgré tout, nettement supérieures à la concurrence.

Patrick Vercher

Depuis le temps que l'on entendait parler de ce décodeur, nous étions plutôt impatients de vérifier par nous-même ses qualités musicales extraordinaires, d'après tous les critiques des revues US. Le moins que l'on puisse dire, est que nous n'avons pas été déçus du résultat. Sans contestation possible un immense bond en avant vient d'être réalisé dans la transcription des disques CD. Vous êtes habitués aux superlatifs de tout genre que nous pouvons distiller dans ces colonnes, mais là, il faut avouer que le choc auditif nous a laissé pantois. En effet, disques CD après disques CD, on découvre enfin des timbres

aux structures harmoniques complexes correctement respectés jusque dans l'extrême-aigu, avec une absence totale de grains parasites qui troublent le message sur les signaux de faible amplitude, une dynamique parfaitement maintenue d'un bout à l'autre du spectre, des ambiances sonores subtiles avec des silences d'une légèreté inouïe entre chaque note. Totalement à l'opposé d'une transcription ennuyeuse, le convertisseur Wadia 2000 procure une telle différence dans les écarts de niveau les plus subtils que l'on se met à suivre sans effort d'intellectualisation les lignes mélodiques les plus complexes. Que ce soit sur des petites formations ou des grands orchestres, la différence auditive par rapport à d'autres convertisseurs ou des lecteurs CD très prestigieux est si importante qu'il est très difficile de revenir en arrière. La musique prend enfin toute sa richesse émotionnelle à partir d'une source digitale trop souvent critiquée à tort par manque de convertisseurs valables. En effet, comme sur les disques analogiques, on retrouve ce superbe « filé » entre les notes, ces prolongements non tronqués dans le temps, cette souplesse dans l'aigu et cette matière qui sont à dix mille lieues de la froideur excessive que l'on reprochait souvent à juste raison à d'autres convertisseurs ou CD même prestigieux.

En plus de ses qualités musicales évidentes, le Wadia 2000 est le seul à produire tout l'impact dans le grave et le haut-grave que l'on peut ressentir en direct dans une cabine d'enregistrement. Les transitoires ont une rapidité

extraordinaire, sans aucune trace de distorsion, tout en ne perdant pas en cours de route la structure vraie des timbres. Ecouter un piano de concert avec le Wadia 2000 est un véritable régal, l'instrument reprenant enfin toute sa « puissance acoustique » d'un bout à l'autre du clavier tout en ne perdant aucun effet de l'acoustique environnante qui souvent apparaît dans un léger brouillard, mal définie. Cette ambiance prend effet en trois dimensions, et vous enveloppe intégralement avec de très subtiles nuances dans les temps de réverbération différents qui se superposent sans confusion.

En compagnie du Wadia 2000, nous avons ressenti véritablement des moments d'intense émotion, à faire dresser les cheveux sur la tête, tant la vérité de transcription paraît évidente dans toutes ses subtilités. Si vous pensez que nous sommes excessifs dans notre appréciation, vérifiez-le par vous-même en écoutant cet extraordinaire convertisseur qui change tout, sur un système naturellement à la hauteur. Si son prix le met hors de portée de la plupart d'entre nous, il ouvre en tout cas la voie d'une nouvelle ère technologique dans la manière de traiter les signaux digitaux. Ne serait-ce qu'en cela, on peut être reconnaissant à toute l'équipe de chercheurs de cette firme d'être sortie des classiques sentiers battus des petits circuits intégrés « burr-brown », que l'on trouve sur la majorité des sections de décodage, pour une technologie digitale de pointe ultra sophistiquée, qui apporte, sans contestation possible, une différence.

ABONNEZ-VOUS A L'AUDIOPHILE
HAUTE FIDELITE PLUS I

**Page non
disponible**



Devant le succès, toujours plus évident des électroniques à tubes, il est permis de s'étonner : il n'y a jamais eu autant de fabricants d'amplificateurs à tube, ni autant de modèles proposés à la vente. L'audio est la seule niche dans l'électronique basse et moyenne puissance, basse et moyenne fréquence, où survivent encore ces dinosaures qui ont commencé à s'éteindre il y a une vingtaine d'années. Le phénomène dure depuis trop longtemps pour qu'un effet de mode ou l'attraction pour une technique du passé puissent être considérés comme des explications suffisantes. Les mesures traditionnelles n'expliquent pas, elles non plus, la préférence que beaucoup accordent aux tubes, mais comme elles ne permettent pas de comprendre de nombreuses autres préférences subjectives, elles ont perdu tout crédit en tant que système globalisant. Comprendre les raisons objectives de cette prédilection est le défi que les électroniciens d'aujourd'hui doivent relever. L'analyse physique que nous vous présentons ici tente de cerner les phénomènes responsables de l'apparente supériorité du tube.

Le tourbillon du progrès technique est trop rapide ; les techniques se démodent avant que d'être totalement maîtrisées. Le transistor a été démodé par les circuits intégrés avant qu'il ait pu atteindre en audio les performances subjectives du tube. L'ère du tube a duré environ soixante ans et a permis d'obtenir une certaine maturité pour cette technique. Le transistor est-

il fondamentalement inférieur au tube en audio, ou est-il encore trop jeune pour pouvoir déjà égaler son aîné ? Cette question est fondamentale pour moi qui suis trop jeune pour avoir connu le tube ; bien sûr je connais les principes et les schémas utilisés par les tubes ; mais sans avoir transpiré pour mettre au point plusieurs montages, on ne connaît pas vraiment une technique.

Faire aussi bien avec les transistors qu'avec les tubes est le défi que je cherche à relever ; cela passe par une étude approfondie des circuits à transistors dont nous vous informons régulièrement dans ces colonnes. Mais cela peut aussi conduire à une analyse du tube et de son fonctionnement. C'est pourquoi nous vous proposons aujourd'hui une analyse physique des phénomènes qui interviennent dans les tubes ; car même si la maturité du tube se traduit par des schémas optimisés, c'est au cœur du tube qu'il faut chercher son secret. Pour ceux qui sont intéressés par les schémas, je renvoie au livre passionnant de Jean Hiraga : « Initiation aux amplis à tubes ».

Nous allons donc examiner le tube avec les yeux d'un physicien et non d'un électronicien ; en effet, l'électronicien travaille sur des modèles qui sont bien pratiques mais qui lui masquent une partie de la réalité physique, ceux qui conçoivent des circuits à transistors l'oublie un peu trop facilement. Nous examinerons d'abord les phénomènes qui interviennent autour de la cathode, puis nous analyserons le fonctionnement du tube le plus simple : la diode. Cela nous permettra de comprendre les autres tubes : triode, tétrade, pentode, hexode (réflexion faite, j'ai des doutes sur l'existence de ce dernier spécimen). Enfin, nous chercherons à relier cette analyse aux qualités subjectives du tube.

La cathode

Les tubes électroniques utilisent les mouvements des électrons dans le vide sous l'action des champs électriques (l'utilisation des effets de champs magnétiques est réservée aux tubes de visualisation — type télévision — et aux tubes hyperfréquence). Le vide n'est pas absolu (comme le voudrait la théorie), cela aurait des consé-

quences économiques, mais suffisant pour la distance moyenne parcourue par un électron entre deux collisions avec les molécules gazeuses résiduelles soit grande par rapport aux dimensions du tube. La pression correspondante est inférieure à 10^{-12} atmosphère.

La réalisation de ce vide et surtout son entretien au cours de la vie du tube imposent des contraintes technologiques dans la réalisation de l'enceinte et des électrodes des tubes ainsi que l'utilisation de pièges à gaz appelés « getters » (obtenus par dépôt de certains métaux tels que le tantale, le baryum, le niobium...)

L'électrode qui émet les électrons est appelée cathode mais un conducteur placé dans le vide n'émet pas spontanément des électrons ; ceux-ci ont besoin d'une certaine énergie pour échapper au réseau cristallin conducteur. Il y a plusieurs moyens pour fournir aux électrons ce surplus d'énergie : on peut chauffer la cathode par effet Joule et accroître l'agitation et l'énergie des électrons (émission thermionique) ; l'énergie peut être fournie par des photons (émission photo-électrique), par une particule ionisante (compteur Geiger) ou par un électron (émission secondaire).

Nous avons vu dans L'Audio-ophile n° 3 (nouvelle série) qu'il y a une autre solution pour obtenir une émission d'électrons : au lieu d'augmenter l'énergie des électrons, on peut abaisser la barrière de potentiel que ceux-ci doivent franchir pour échapper au milieu conducteur ; c'est possible en utilisant l'effet de pointe d'une grande quantité de micro-pointes qu'on sait obtenir grâce aux progrès de la microlithographie liés aux nouveaux circuits microélectroniques.

Dans les tubes utilisés en audio, on rencontre l'émission thermionique et l'émission secondaire.

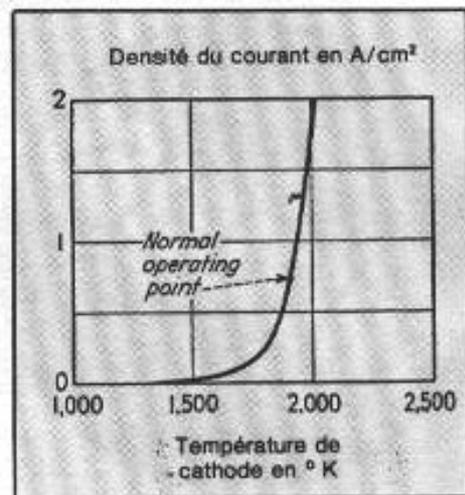


Fig. 1 : Densité de courant émise par une cathode en tungstène thorié. (Doc. Mc Graw-Hill, extrait de Radio Engineering de F.E. Terman)

L'émission thermionique

L'intensité du courant émis par une surface chaude est donnée par la formule :

$$I = S.A.T^2.e^{-\frac{b}{T}}$$

S est la surface émissive. A et b sont des constantes liées au matériau situé à la surface. T est la température absolue.

La figure n° 1 montre la variation de la densité de courant émise par un type de cathode en fonction de la température. Cette courbe montre qu'il faut utiliser une cathode très chaude pour obtenir la plus grande densité de courant. Malheureusement, une température élevée s'accompagne d'une mauvaise résistance mécanique, on est donc limité de ce côté-là.

On peut aussi jouer sur le matériau de surface pour obtenir une densité de courant plus importante : on a su trouver des matériaux satisfaisants mais ils sont fragiles et peuvent être détériorés par un mauvais chauffage (évaporation par chauffage excessif, arrachage par action du champ électrostatique dans le cas d'un chauffage insuffisant) par réaction chimique avec les gaz résiduels ionisés sous l'effet des champs électriques ou par une application trop rapide des tensions (même effet qu'un chauffage insuffisant).

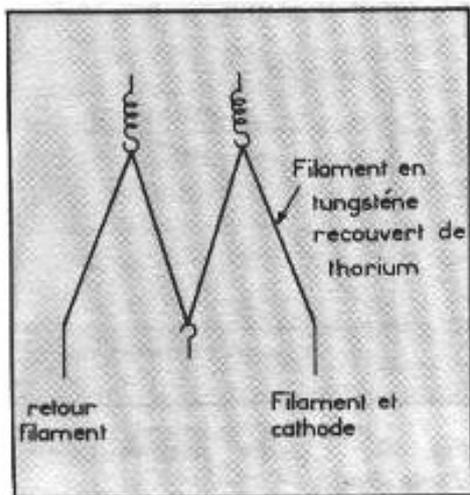


Fig. 2 : Exemple de chauffage direct. (Les ressorts sont utilisés pour absorber les dilatations du filament.)

Dans la pratique, les fabricants ont retenu trois compromis pour les matériaux de surface des cathodes :

- le tungstène très robuste utilisé pour les tubes de puissance ; la température de surface est d'environ $2\ 600^\circ\text{K}$ pour une densité de courant de $0,2\ \text{A}/\text{cm}^2$,
- le tungstène recouvert d'une couche très fine de thorium ; on obtient alors une densité de courant plus élevée ($3\ \text{A}/\text{cm}^2$) pour une température plus basse ($1\ 900^\circ\text{K}$), c'est-à-dire pour une puissance de chauffage inférieure,
- des oxydes alcalino-terreux (strontium, baryum, calcium) en couche fine sur du nickel ; on obtient une densité de courant de $4\ \text{A}/\text{cm}^2$ pour une température relativement basse comprise entre $1\ 000^\circ\text{K}$ et $1\ 200^\circ\text{K}$.

En audio, on rencontre le tungstène thorié dans les triodes de puissance (chauffage direct, la cathode est reliée au filament - voir la figure n° 2) et les couches d'oxydes (chauffage indirect, la cathode est isolée du filament - voir la figure n° 3).

Nous avons vu que la température de cathode détermine la densité de courant disponible et donc le courant maximum du tube, elle joue aussi sur la durée de vie du tube ; en effet, les tubes ont une durée de vie limitée par l'usure de la cathode ; le maté-

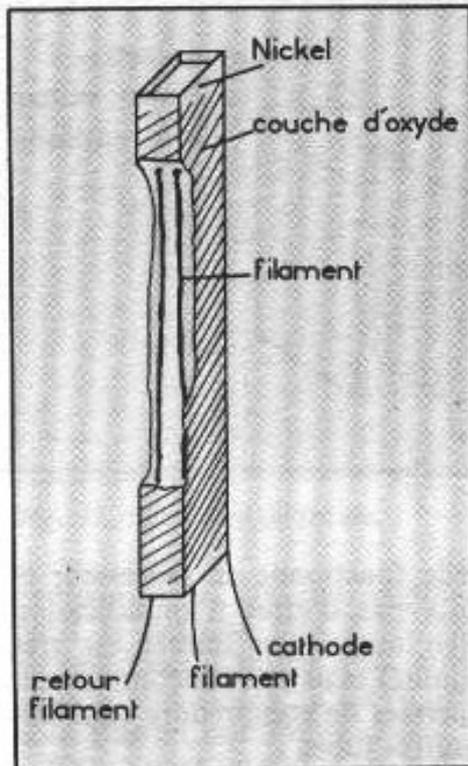


Fig. 3 : Exemple de chauffage indirect (vue écorchée). Le filament est noyé dans un matériau isolant mais conducteur de chaleur.

riau de surface s'épuise ou s'empoisonne et le courant maximal disponible baisse inexorablement.

La durée de vie d'un tube est habituellement comprise entre 1 000 et 3 000 heures, mais en baissant la température de cathode, elle peut être portée à 5 000 heures et même plus dans les installations téléphoniques (jusqu'à 100 000 heures).

L'émission secondaire

Celle-ci est parfois utilisée pour amplifier des flux d'électrons faibles, en particulier dans les systèmes photo-électriques (intensificateurs d'image) mais dans les tubes utilisés en audio, c'est un phénomène parasite qu'on cherche à réduire.

Elle intervient dès qu'un électron heurte une surface (conductrice ou isolante) avec suffisamment d'énergie ; il peut arracher plusieurs électrons. La courbe de la figure n° 4 montre que le rendement de l'émission secondaire est fonction du matériau de surface et de la vitesse de l'électron

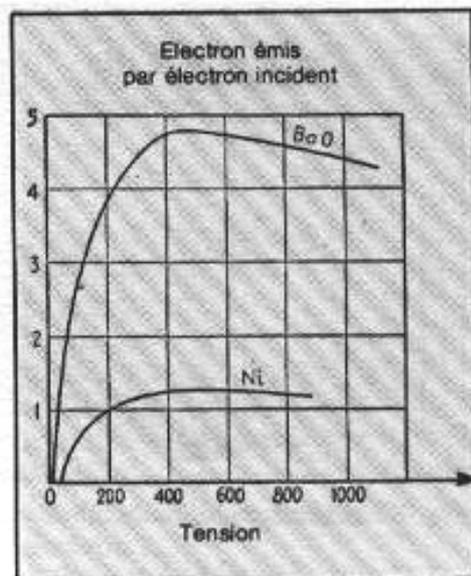


Fig. 4 : Rendement de l'émission secondaire pour deux matériaux de surface en fonction de l'énergie de l'électron. (Doc. Mc Graw-Hill).

(celle-ci est fixée par le potentiel accélérateur) ; on y voit que les oxydes de la cathode favorise l'émission secondaire, leur évaporation et leur redéposition sur les autres électrodes du tube participent au vieillissement du tube et à la dégradation de ses caractéristiques.

La diode

La diode est le tube le plus simple : elle est constituée de deux électrodes actives (voir la figure n° 5) : la cathode qui est chauffée pour émettre des électrons et l'anode (ou plaque) qui n'est pas chauffée et qui ne peut émettre des électrons que par émission secondaire.

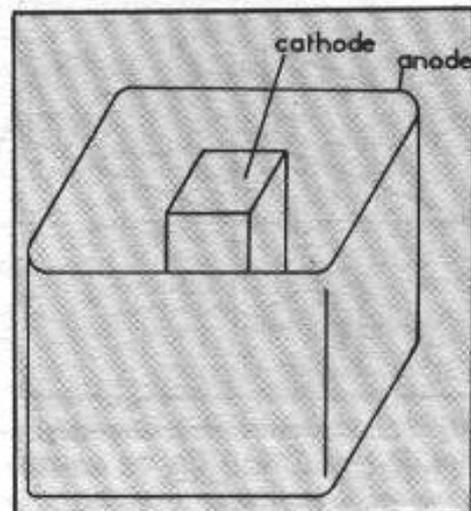


Fig. 5 : Structure de diode.

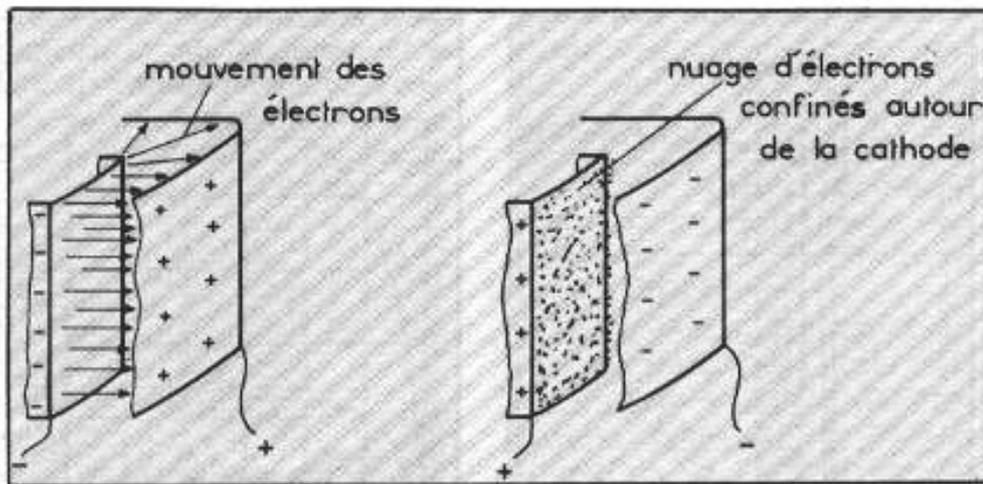


Fig. 6 : Redressement de la diode.

Les électrons présents entre la cathode et l'anode sont soumis à un champ électrique qui résulte du potentiel entre ces électrodes (voir la figure n° 6) : si l'anode est positive par rapport à la cathode, le champ électrique attirera les électrons vers l'anode et un courant parcourra le tube puisque l'émission thermionique de la cathode remplacera les électrons attirés par l'anode ; si l'anode est négative par rapport à la cathode, le champ électrique attirera les électrons vers la cathode, ceux-ci sont confinés au voisinage de celle-ci et il s'établit un équilibre entre les électrons émis par effet thermionique et ceux qui retombent sur la cathode : il n'y a pas de courant qui circule dans le tube.

La diode ne laisse donc passer le courant que dans un seul sens,

elle fonctionne en redresseur et n'a pas d'effet d'amplification (en audio son intérêt est très limité) mais son fonctionnement permet de comprendre celui des autres tubes :

Un électron isolé entre deux électrodes portées à des potentiels différents (voir la figure n° 7) sera soumis à une force et donc à une accélération constante. En revanche, si les électrons sont nombreux, leurs charges vont intervenir sur la valeur du champ électrique (voir la figure n° 8), on appelle ce phénomène « charge d'espace » et on le retrouve dans le fonctionnement de la diode :

La courbe courant-tension d'une diode (voir la figure n° 9) a l'allure d'un S : quand la tension est faible, la charge d'espace exerce une répulsion importante

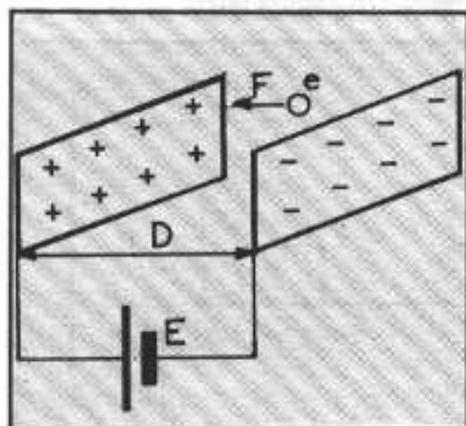


Fig. 7 : L'électron isolé (charge négative de $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Cb) est soumis à une force $F = q \times \frac{E}{D}$.

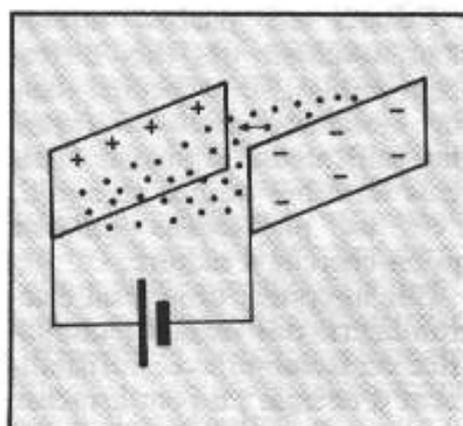


Fig. 8 : L'électron dans un nuage est soumis au champ réduit par la charge que représentent les autres électrons.

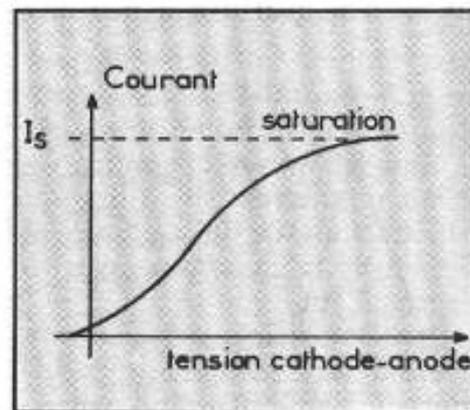


Fig. 9 : Courbe tension-courant d'une diode.

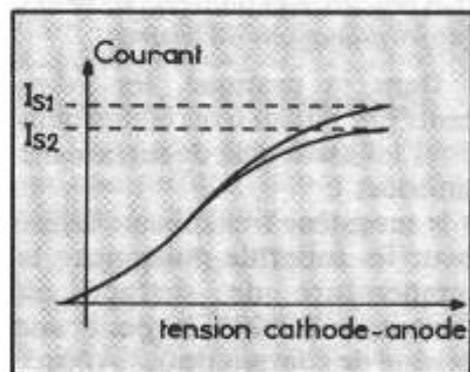


Fig. 10 : Variation de la courbe tension-courant d'une diode avec le chauffage.

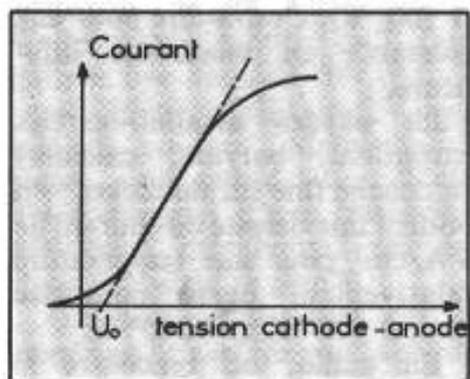


Fig. 11 : Approximation linéaire de la loi tension-courant d'une diode.

sur les électrons émis par la cathode, le courant est donné par la loi :

$$I = K \cdot V^{-\frac{3}{2}}$$

K est une constante déterminée par les caractéristiques géométriques des électrodes ; les caractéristiques de la cathode n'interviennent pas. Mais quand la tension croît, les limitations

dues à l'émission thermionique interviennent progressivement jusqu'à saturation où tous les électrons émis sont absorbés par le flux allant vers l'anode. La valeur du courant de saturation est fonction de la cathode et varie avec le chauffage (voir la figure n° 10).

Dans sa partie centrale (voir la figure n° 11), la courbe tension-courant peut être approximée par une droite d'équation :

$$V = U_0 + R_i \cdot I$$

U_0 est généralement faible et souvent négligé. R_i est la résistance interne de la diode.

La triode

La triode est une diode dans laquelle on a ajouté une troisième électrode (voir la figure n° 12) : une grille située entre la cathode et l'anode. La grille est une structure métallique aérée qui permet le passage des électrons et qui laisse passer une partie du champ produit par l'anode.

En première approximation, on peut considérer qu'entre la cathode et la grille, les électrons vont se comporter comme dans la diode : c'est le potentiel de la grille qui détermine le courant

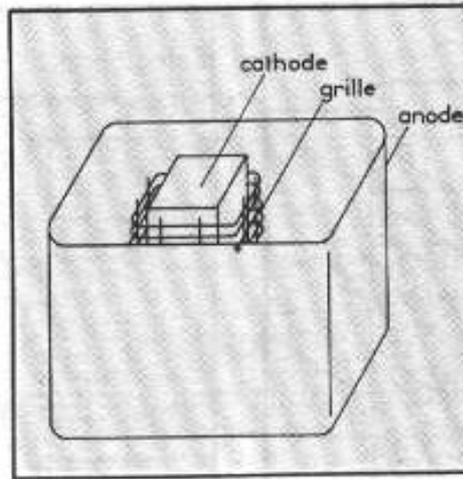


Fig. 12 : Structure de triode.

cathode, or ce courant, comme nous le verrons plus loin, est recueilli par l'anode sous une tension plus élevée : c'est ce qui nous fournit une amplification.

Nous avons vu comment, dans le cas de la diode, le courant fourni par la cathode était fonction du champ électrique qui règne autour de la cathode : ce champ est la somme du champ produit par l'anode et par la charge d'espace des électrons. Dans le cas de la triode, il en est de même par application du théorème de superposition des états électriques : le champ électrique au voisinage de la cathode est la somme du champ produit

par la grille, du champ produit par l'anode et de la charge d'espace ; c'est pourquoi la loi qui fixe le courant est de la forme :

$$I = K \cdot (V_{KA} + \mu \cdot V_{KG})^2$$

μ est un coefficient qui traduit l'influence relative des potentiels de grille et d'anode, on l'appelle coefficient d'amplification du tube. Sa valeur typique est habituellement comprise entre 5 et 100. Il est fixé par les lois de l'électrostatique et ne dépend donc que de la géométrie des électrodes.

On peut tracer les courbes de la loi :

$$I = f(V_{KA}, V_{KG})$$

soit en fonction de la tension cathode-grille (voir la figure n° 13), soit en fonction de la tension cathode-anode (voir la figure n° 14) ; on retrouve la forme de la courbe de la figure n° 9, même si la saturation n'est pas visible. Celle-ci apparaît quand le tube vieillit ou si on réduit le chauffage de la cathode (voir la figure n° 15).

On préfère généralement utiliser les courbes qui donnent le courant en fonction de la tension cathode-anode pour différentes valeurs de la tension cathode-

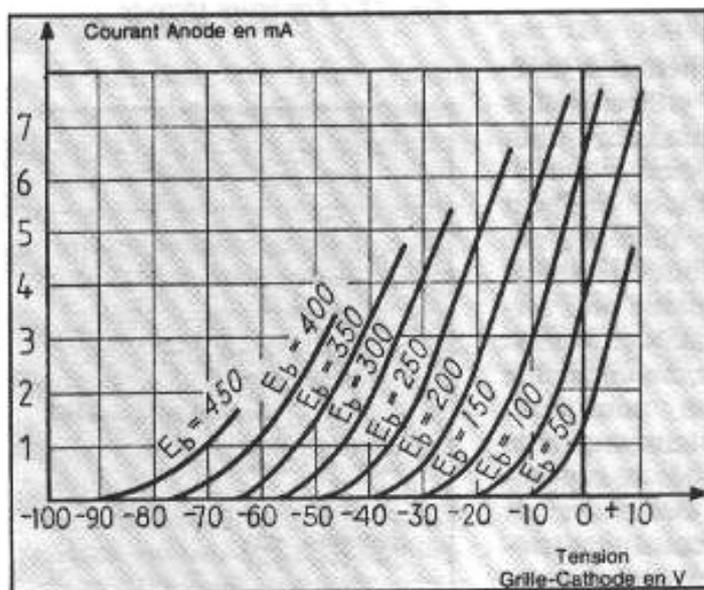


Fig. 13 : Courant anode en fonction de la tension grille cathode pour différentes valeurs de la tension anode-cathode notée ici E_c . (Doc. Mac Graw-Hill).

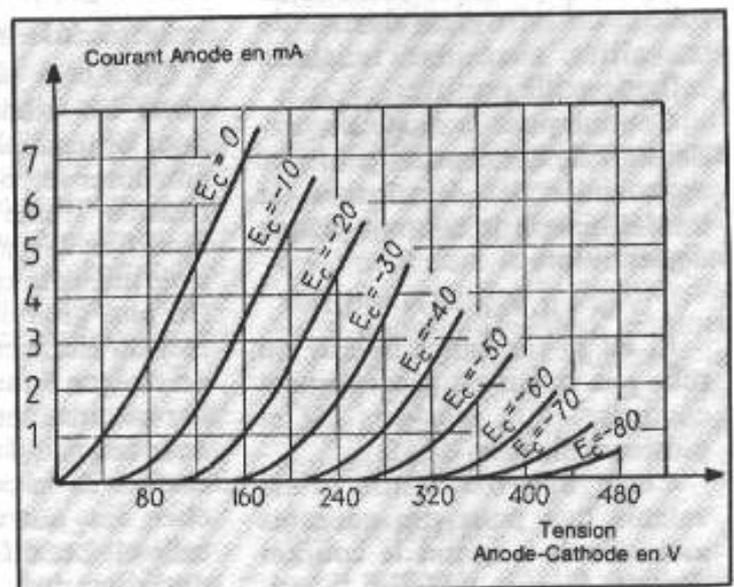


Fig. 14 : Courant anode en fonction de la tension anode-cathode pour différentes valeurs de la tension grille-cathode notée ici E_c . (Doc. Mac Graw-Hill).

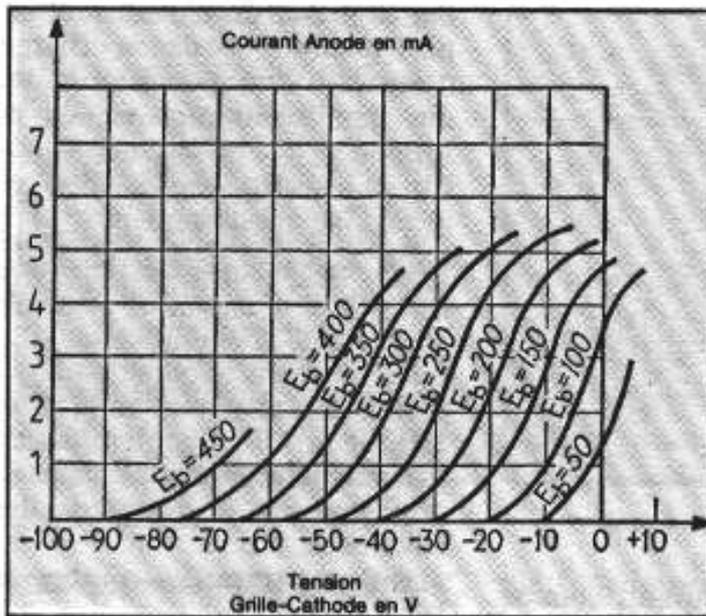


Fig. 15 : Evolution des courbes de la figure n° 13 quand le chauffage est réduit ou quand la cathode est ancienne.

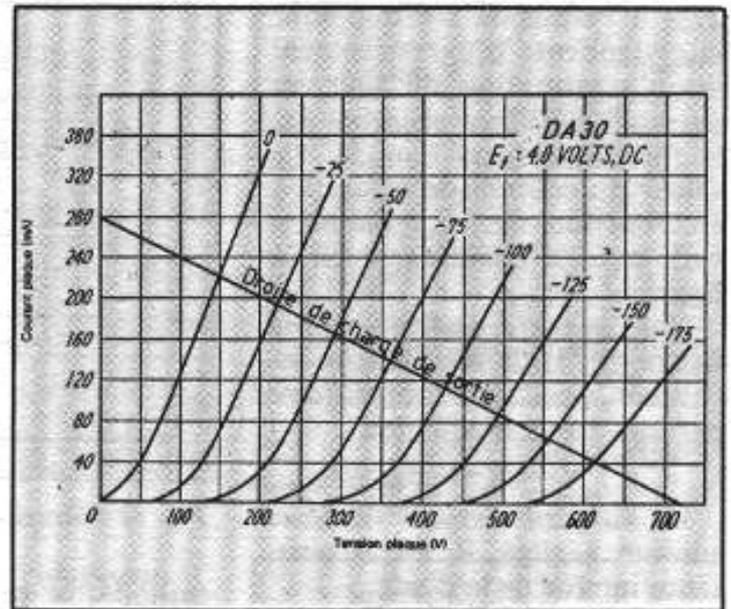


Fig. 16 : Caractéristiques et droite de charge d'une triode.

grille, car on peut tracer sur ces courbes la droite de charge de sortie du tube (voir la figure n° 16).

On voit sur la figure n° 13 que l'amplification a principalement lieu pour des valeurs négatives de la tension cathode-grille ; si cette tension est négative il n'y aura aucun électron pour aller de la cathode à la grille, il n'y aura donc aucun courant dans la grille. Cela veut dire que l'impédance de grille est infinie. C'est une propriété très intéressante du tube et on évite généralement de travailler avec des tensions cathode-grille positives.

Comme pour la diode, la partie centrale des courbes peut être approximée par des droites, la loi définissant le courant plaque devient alors :

$$V_{KA} + \mu \cdot V_{KG} = U_0 + R_i \cdot I$$

R_i est la résistance interne du tube ; sa valeur est généralement comprise entre plusieurs k Ω et plusieurs dizaines de k Ω .

Cette approximation n'est valable que pour des courants assez élevés : quand le courant décroît, à cause de la loi théorique avec la puissance $\frac{3}{2}$, la résistance interne du tube se met à

croître fortement.

On a l'habitude d'utiliser un autre paramètre pour évaluer le comportement d'un tube : la pente qui est définie par le rapport entre le coefficient d'amplification et la résistance interne :

$$p = \frac{\mu}{R_i}$$

on l'appelle aussi transconductance du tube puisqu'elle fixe la variation du courant anode correspondant à une variation de la tension grille :

$$\Delta I = p \cdot \Delta V_{KG}$$

On a bien sûr cherché à améliorer les triodes, en particulier pour obtenir plus de gain ; pour améliorer le coefficient d'amplification d'une triode, on peut modifier la grille pour qu'elle isole mieux la cathode de l'anode (fil plus gros ou maille plus serrée) ou éloigner l'anode. Mais si on éloigne l'anode, on augmente la résistance interne : pour diminuer celle-ci, il faut augmenter la surface de la cathode et rapprocher les autres électrodes de celle-ci. Les différents tubes triodes sont donc des compromis, mais on peut également modifier le comportement d'une triode en lui ajoutant d'autres électrodes.

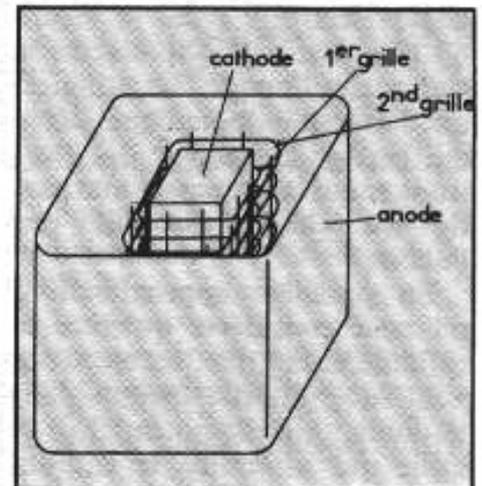


Fig. 17 : Structure tétrode.

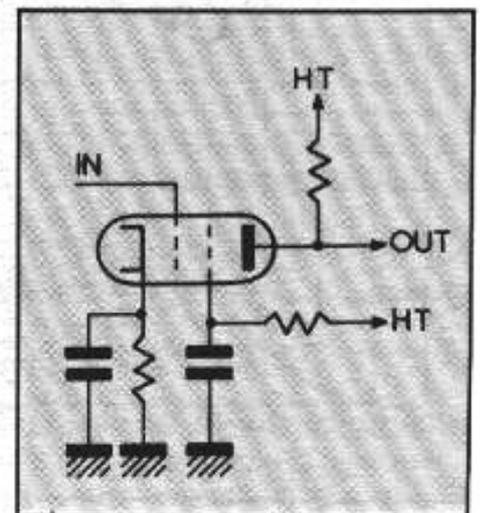


Fig. 18 : Utilisation de la seconde grille comme écran.

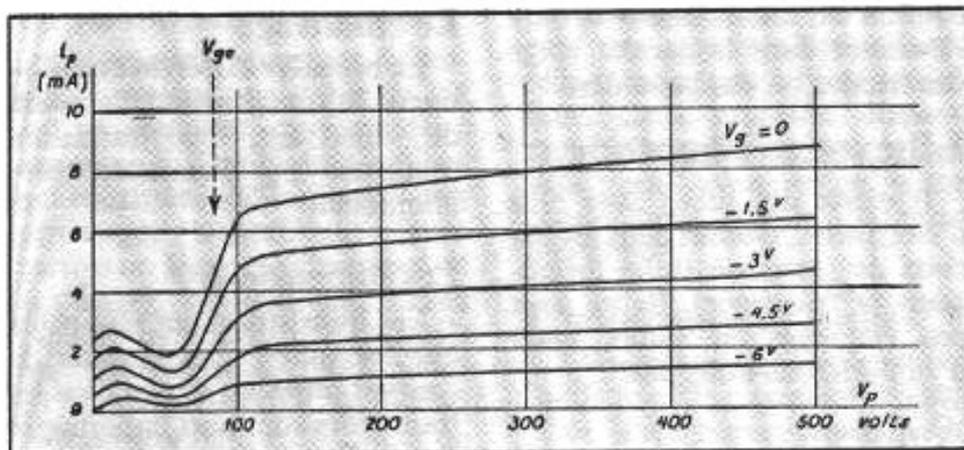


Fig. 19 : Caractéristiques d'une tétrode.

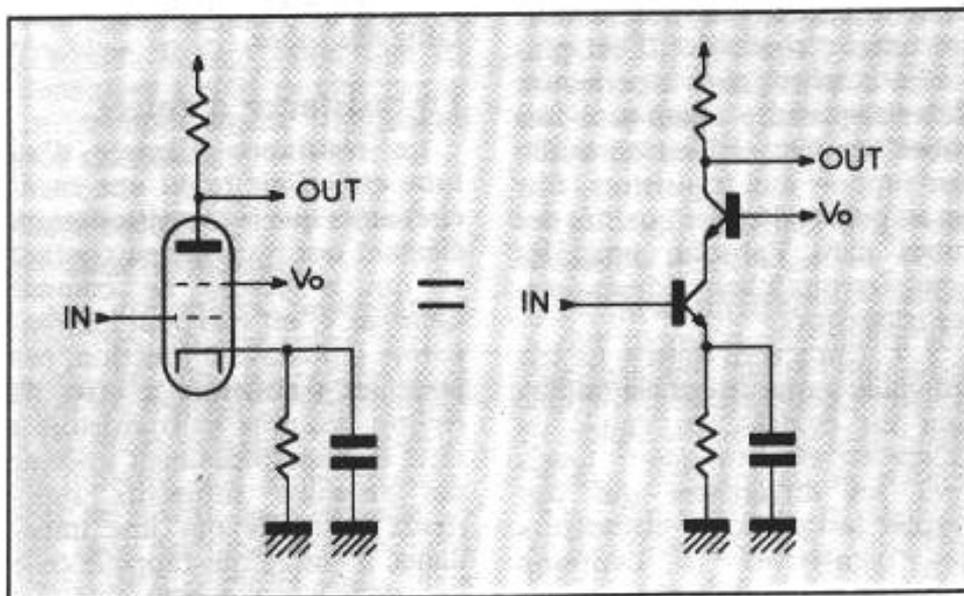


Fig. 20 : Analogie tétrode-montage cascode.

La tétrode

La tétrode est une triode munie de deux grilles (voir la figure n° 17). Il y a plusieurs façons d'utiliser un tel tube, mais en audio la première grille est utilisée comme grille de commande (ainsi que dans la triode) et la seconde grille est portée à un potentiel fixe élevé (voir la figure n° 18) ; celle-ci est alors appelée grille-écran ; son rôle est en effet d'isoler la cathode de l'anode.

La grille-écran a deux conséquences sur les caractéristiques statiques du tube : l'anode étant isolée électrostatiquement de la cathode, le champ induit par l'anode au niveau de la cathode

est très faible et le coefficient d'amplification est très élevé. A cause de cette isolation, l'influence d'une variation de la tension anode sur le courant cathode est faible, autrement dit la résistance interne du tube est très importante : on obtient des courbes caractéristiques pratiquement horizontales (voir la figure n° 19).

L'écran électrostatique que représente la grille-écran permet également de réduire la capacité parasite entre l'anode et la grille. Nous ne nous sommes pas préoccupés jusqu'ici des problèmes dynamiques, mais la capacité anode-grille a les mêmes effets que la capacité base-collecteur

dans un transistor : à cause de l'effet Miller il est difficile d'obtenir une bande élevée avec un gain important. Une réduction de l'effet Miller, une impédance de sortie élevée, décidément l'isolation apportée par la grille-écran me fait irrésistiblement penser au montage cascode (voir la figure n° 20).

Si on reprend l'équation de la triode pour la partie centrale des caractéristiques en divisant tous les termes par R_i , on obtient :

$$\frac{V_{KA}}{R_i} + \frac{\mu}{R_i} V_{KG} = \frac{U_0}{R_i} + I$$

Si R_i est très grand (cas de la tétrode), on a :

$$p \cdot V_{KG} = I_0 + I$$

La grille-écran interceptant une proportion à peu près constante du courant cathodique, on obtient un courant de sortie (sur l'anode) proportionnel à la tension d'entrée (entre cathode et grille).

Bien sûr, la grille-écran intercepte une partie du courant cathodique mais, malgré cela, l'amélioration des caractéristiques du tube est intéressante. Un inconvénient plus gênant est que pour les potentiels d'anode faibles, les électrons produits par l'anode (émission secondaire) sont attirés par la grille-écran. C'est ce phénomène qui explique l'allure tourmentée des caractéristiques de la figure n° 19, quand la tension anode est faible. La résistance négative locale qui résulte de ces courbes est parfois mise à profit (circuit oscillateur) mais dans le cas de l'audio, elle peut perturber le fonctionnement du montage. Pour éliminer cet effet, on peut jouer sur la forme des électrodes, mais une solution simple est d'ajouter une nouvelle grille.

La pentode

La pentode est un tube qui comprend trois grilles (voir la figure n° 21). Son fonctionnement est le même que celui de la

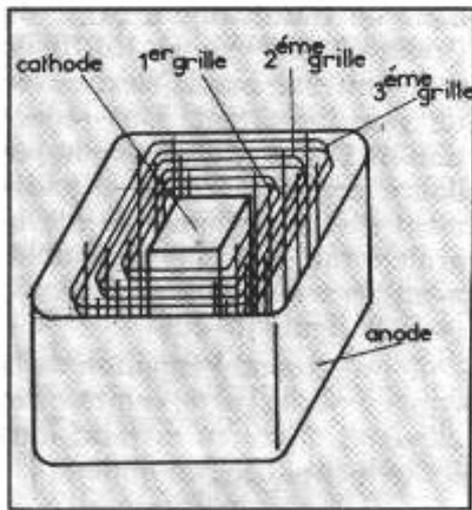


Fig. 21 : Structure de pentode.

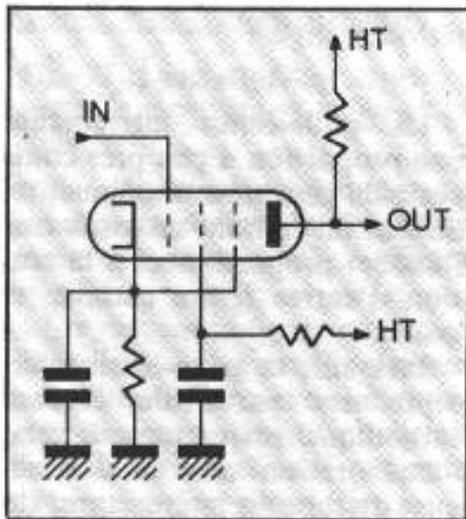


Fig. 22 : Utilisation de la 3^e grille pour repousser l'émission secondaire de l'anode.

tétrode, mais avec la nouvelle grille reliée à la cathode (voir la figure n° 22) pour repousser vers l'anode l'émission secondaire de celle-ci. On obtient un tube qui présente les avantages de la tétrode sans en avoir les inconvénients (voir la figure n° 23).

La pentode est un tube très intéressant : la valeur du coefficient d'amplitude peut atteindre plusieurs milliers et la résistance interne plusieurs centaines de k Ω (voire plusieurs M Ω) ; mais il reste un tube délicat à réaliser (à cause de sa complexité et des problèmes d'isolation) et il est mal adapté à la puissance et on lui préfère la triode (ou la tétrode) pour la puissance. Les applications de puissance audio

sont un cas intermédiaire et on y rencontre dans le dernier étage des triodes ou des pentodes.

L'hexode, l'heptode...

Il existe des tubes avec plus d'électrodes. Utilisés dans les circuits de réception (tube mélangeur de fréquence), ils ne sont pas employés en audio, aussi n'en parlerons-nous pas.

Analyse des qualités des tubes

L'exposé présenté ci-dessus ne se veut pas un cours complet sur les tubes ; son objectif est plus limité et plus précis : permettre de comprendre pourquoi les tubes sonnent si bien en audio par rapport aux transistors. Car on ne peut traiter des qualités des tubes dans l'absolu, nous les comparerons à leurs adversaires, les transistors.

J. Lacan a écrit dans « La lettre volée » que ce qui est important est évident, en va-t-il de même en électronique ? Quels sont les différences qui ont frappé les premiers utilisateurs des transistors (à l'époque c'étaient des transistors bipolaires), habitués qu'ils étaient aux tubes ?

Le chauffage

La première différence qui distingue le transistor est l'absence de chauffage, les transistors n'utilisent pas l'émission thermionique.

Les dimensions

Les transistors sont plus petits que les tubes : les densités de courant mises en œuvre dans les transistors sont plus importantes de plusieurs ordres de grandeur par rapport aux tubes. Ce sont les limites de l'émission thermionique qui sont responsables de la taille des tubes.

La résistance d'entrée

La résistance d'entrée d'un tube est infinie (c'est une capacité) alors que le transistor est un élément qui travaille en courant et qui a besoin de courant d'entrée. C'est vrai pour les transistors bipolaires à jonction, pas pour les transistors à effet de champ ; comme les transistors à effet de champ donnent souvent des résultats subjectifs supérieurs et qu'ils ont une impédance d'entrée qui rappelle celle des tubes, beaucoup pensent que l'impédance d'entrée est responsable des qualités du tube.

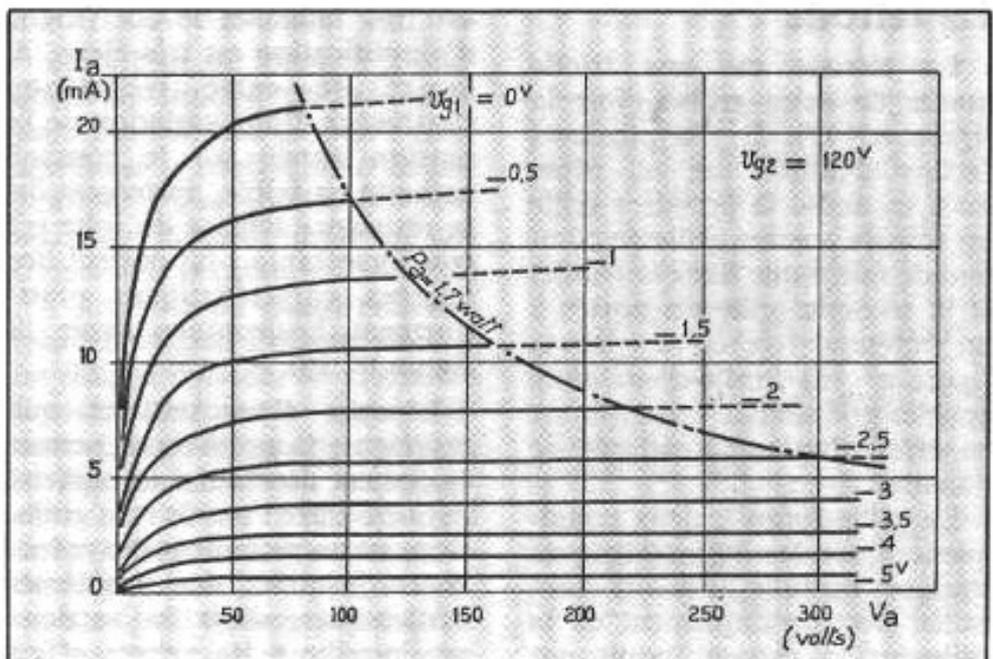


Fig. 23 : Caractéristiques d'une pentode.

La stabilité thermique

Les premiers montages à transistors avaient une durée de vie qui se comptait en secondes : quand on a l'habitude des tubes qui encaissent gaillardement des surcharges importantes (avec parfois un léger rougissement de la plaque), la désinvolture avec laquelle les transistors s'emballent thermiquement et fondent est très déconcertante. Beaucoup de transistors ont été victimes de l'ignorance de la contre-réaction d'émetteur. Mais on s'habitue à tout et nous avons appris à vivre avec cette instabilité au point de l'oublier. Il faut noter que les transistors à effet de champ ont un comportement thermique plus satisfaisant.

La tension de fonctionnement

Les transistors fonctionnent avec des tensions plus basses. Bien sûr, on sait maintenant faire des transistors qui résistent à plusieurs centaines de volts et en utilisant une grille accélératrice au niveau de la cathode on sait faire des tubes fonctionnant avec une dizaine de volts, mais fondamentalement les tubes fonctionnent avec environ dix fois plus de tension que les transistors.

A ces remarques qui ont frappé les premiers utilisateurs (comme me l'ont raconté quelques anciens qui savent encore rire des déboires qu'ils eurent lors de leurs premières expérimentations avec ces nouvelles bêtes bizarres qu'étaient les transistors), il faut ajouter deux différences :

La linéarité

Les courants dans un transistor sont régis par des lois physiques exponentielles alors que les tubes obéissent à une loi avec une puissance $\frac{3}{2}$ plus linéaire. En outre pour la triode, la linéarité théorique entre l'action des

potentiels de grille et d'anode crée une contre-réaction naturelle très linéaire à l'intérieur du tube. Cette propriété disparaît pour la tétrode et pour la pentode : nous avons vu qu'ils sont conçus pour réduire l'influence de l'anode.

L'impédance de sortie

L'impédance de sortie est plus faible pour le transistor et celui-ci se prête beaucoup mieux au couplage direct (et continu) que le tube. Je sais bien qu'il existe des amplificateurs à tubes sans transformateur de sortie (principe OTL) mais la règle commune veut que les montages à tubes utilisent condensateurs de liaison et transformateurs de sortie.

Bilan

Parmi les différences que nous avons recensées, lesquelles sont responsables de la supériorité subjective apparente du tube sur le transistor ? A mon avis, la différence majeure est la stabilité thermique : les lois qui régissent le fonctionnement du tube sont l'électrostatique et les lois de la dynamique appliquées à la masse des électrons qui se déplacent dans le vide. Les caractéristiques d'un tube dépendent de la géométrie de ses électrodes ; cela le rend sensible aux vibrations (c'est l'effet microphonique que ne connaît pas le transistor) mais les échauffements internes liés au signal (le chauffage de la cathode est stable) qui interviennent sur l'anode ont peu d'effet sur les caractéristiques du tube.

En revanche, dans le transistor les électrons se déplacent au sein d'un cristal et sont en interaction étroite avec les atomes de ce cristal : c'est pourquoi le fonctionnement du transistor dépend étroitement de la température de ce cristal. La partie active du transistor (la jonction Base-Emetteur) est très proche du lieu de dissipation de la puissance (la

jonction Base-Collecteur). Cela explique l'instabilité thermique du transistor. On sait de nos jours concevoir des circuits dans lesquels cette instabilité ne met pas en danger les transistors mais bien souvent dans ces circuits il y a des dérives des points de polarisation des transistors et ces dérives entraînent des modulations de la nature des distorsions auxquelles l'oreille est très sensible ; ce phénomène est aggravé par les liaisons en continu et par les réseaux de contre-réaction.

Conclusion

Nous avons vu que la supériorité subjective du tube sur le transistor est probablement liée à un défaut du transistor : son instabilité thermique, autrement dit : la principale qualité du tube qui le fait si bien apprécier en audio c'est la grande stabilité à court terme de ses caractéristiques. J'espère que nos expérimentations en cours sur des circuits à transistors (dans lesquels ce point a été pris en compte) viendront valider cette analyse et permettront enfin au transistor de devenir majeur et l'égal du tube.

Abonnez-vous
Voir notre offre d'abonnement en page 154

**Page non
disponible**

Accessoires

...ET TENDANCES

U

n « Accessoires et Tendances » qui, pour une fois, se veut plus le lieu d'une réflexion que celui d'un exposé purement descriptif. Une réflexion autour des câbles de liaison et de leur pendant, les connecteurs, que nous inspire à la fois la liste des principaux thèmes abordés dans cette revue et la tenue prochaine du salon « Permanence du Tube Expo 89 » lié à « Connectique 89 ».

A priori, parler de câbles et de connecteurs peut se ramener à une longue énumération de paramètres physiques au chapitre desquels les dimensions, le poids, la structure, les matériaux utilisés, la couleur, etc.

On peut y ajouter pour les câbles différentes mesures électriques, d'impédance, de distorsion, etc.

Ce sont ce que nous appellerons des paramètres objectifs.

Des paramètres objectifs et qui pourtant n'expliquent rien, ou pas grand chose.

Pas grand chose notamment en ce qui concerne les écarts constatés à l'écoute entre deux câbles différents comparés sur un même système,

et qui, pour subjectifs qu'ils soient,

n'en sont pas pour autant moins réels, loin s'en faut.

Nous prendrons d'ailleurs connaissance avec intérêt

de l'avis éclairé d'un homme de science en la personne d'Héphaïstos qui donne du phénomène une analyse pertinente et non dénuée d'humour.

Quant à nous qui désirons tout aussi légitimement y voir clair,

nous nous attacherons — « faute de mieux dans l'état actuel de l'avancement de la science » —

à établir une classification grossière

des différentes techniques utilisées à ce jour dans un domaine, la connectique, qui suscite un vif regain d'intérêt dans le monde de la Hi-Fi.

Ce sera l'occasion pour tout un chacun d'établir un point permettant de s'y retrouver au mieux dans ce qui a tout l'air d'une jungle inextricable.

En n'oubliant pas encore une fois

que la seule évaluation qualitative possible sera celle basée sur l'écoute.

Pour l'instant du moins...

Vincent Cousin

Nous ne reviendrons pas sur ce que nous considérons désormais comme acquis, à savoir le rôle non négligeable joué par les cordons de liaison dans la qualité sonore globale d'un système. Pour qui écoute avec quelque attention, les différences entre un cordon « standard » et son homologue « haute définition » sont criantes. Un bon système d'écoute est un système pensé comme un tout et équilibré jusque dans ses moindres maillons dont les cordons font évidemment partie. Nul ne songe à équiper une Ferrari de pneus de bicyclette. Et pourtant, en câblant une chaîne à 100 000 F avec de vulgaires Scindex, c'est un peu l'opération à laquelle on se livre. Bien sûr, ça marche, mais quelle limitation dans les performances !

A celui dont l'expérience dans ce domaine est encore limitée, nous conseillerions de commencer par changer les deux câbles qui relient l'amplificateur aux enceintes. Le câble le plus courant pour ce type d'utilisation est un câble à deux conducteurs multibrins de forte section (minimum 2,5 mm²) en cuivre pur (genre câble Lucas). Pratiquement tous les fabricants de câbles proposent ce type de produit avec des variantes qui concernent la section, la nature de l'isolant, la pureté du métal ou encore l'écartement entre les conducteurs.

Bien noter alors les changements qui ne manqueront pas de se produire. Cette expérience sera certainement pour notre néophyte le point de départ d'une vaste fringale de changements qui s'étendront aux cordons de liaison entre sources et préampli et entre préampli et ampli. Là encore quelques menus conseils sont de mise. Nous déconseillons, pour notre part et dans 99 % des cas, l'utilisation du même type de câble dans toute la chaîne. On constate généralement dans ce cas de

figure la mise en avant d'un caractère particulier qui est un peu « l'empreinte génétique » du câble en question.

Selon nous, le panachage est donc souhaitable, ce qui augmente l'intérêt du choix en même temps que sa difficulté. Car joue là encore un autre phénomène dit de compensation entre la source, le préampli et le cordon de liaison, compensation tendant à lisser ou au contraire à exacerber une tendance ou un caractère sonore. Avec sa panoplie de cordons, l'audiophile est un peu comme le peintre qui, sur sa palette, mélange les couleurs primaires pour en obtenir la teinte de son choix. L'art du coloriste est tout entier contenu dans cette délicate et subtile opération. Celui de l'audiophile est tout aussi subtil et consiste à approcher une vérité sonore qu'il détient par devers lui grâce à de petites touches successives dont les câbles sont ses instruments.

Cuivre pur et métaux précieux : une délicate alchimie sonore

De tous les métaux susceptibles de transporter un courant, le cuivre est celui qui offre la meilleure conductivité pour un prix de revient raisonnable. Si l'on observe le tableau de la figure 1 dans lequel sont données les valeurs de résistance des principaux métaux pour une longueur et une section identiques, on remarque que l'argent fait un peu mieux que le cuivre sur ce paramètre. Le prix malheureusement élevé de ce métal en limite cependant la diffusion et lorsqu'il est utilisé, c'est généralement en association avec du cuivre (Symo) ou d'autres métaux moins précieux.

Contre toute attente, l'or s'avère un moins bon conducteur que le cuivre et a fortiori que l'argent. S'il est tellement

Métal	Résistance électrique ρ $\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$
Acier, 0,1 % C, 0,5 % Mn	0,13... 0,15
Acier, 0,25 % C, 0,3 % Si	0,18
Aluminium, 99,5 % Al, doux	0,0278
Al-bronze, 90 % Cu, 10 % Al	0,13
Al-Mg-Si	0,03... 0,033
Argent	0,0166
Bismuth	1,2
Bronze, 88 % Cu, 12 % Sn	0,18
Cadmium	0,077
Constantan	0,49... 0,51
CrAl 20 5 ¹¹	1,37
CrAl 30 5 ¹¹	1,44
Cuivre et ses alliages, doux	0,01754
Cuivre et ses alliages, dur	0,01786
Etain	0,12
Foote grise	0,60... 1,60
Graphite et charbon des cornues	13... 100
Laiton	0,07
Magnésium	0,046
Maillechort	0,33
Manganèse	0,43
Mercur	0,958
Métal Monel	0,42
Molybdène	0,054
Ni Cr 30 20 ¹¹	1,04
Ni Cr 60 15 ¹¹	1,11
Ni Cr 80 20 ¹¹	1,09
Nickel	0,09
Nickel chromé, Celas	cf. Ni Cr 80 20
Nickeline	0,4
Or	0,022
Platine	0,1
Plomb	0,208
Tantale	0,16
Tôle dynamo	0,13
Tôle dynamo allié (1... 5 % Si)	0,27... 0,67
Tombak	0,05
Tungstène	0,085
Zinc	0,063

Fig. 1 : Résistance spécifique électrique des métaux (à 20° C). (Résistance d'un fil d'1 m de longueur et d'1 mm² de section - doc. Formulaire électronique de poche Th. Krist).

répandu en tant que surface de contact sur la majorité des prises et connecteurs de qualité, c'est essentiellement en raison d'une relative insensibilité aux formes d'oxydation les plus courantes.

La technologie aidant et la demande en câbles de haute définition augmentant sans cesse, on a vu apparaître des sigles mystérieux comme les fameux duettistes « LC » et « OFC ». Peut-être ne serait-il pas inutile de revenir un peu sur leur signification.

Outre les contraintes mécaniques, thermiques et électromagnétiques, l'une des plus importantes causes de dégradation du signal à l'intérieur d'un câble est due à la présence d'oxygène et d'impuretés dans la structure du métal conducteur. Tout corps métallique est formé de cristaux.

Les impuretés se logent dans les minuscules interstices qui séparent ces cristaux et agissent comme autant de petites barrières qui ralentissent la progression du signal à l'intérieur du câble.

Le cuivre utilisé dans les conducteurs classiques a en moyenne un degré de pureté de l'ordre de 99,5 %. Avec le cuivre désoxygéné (en anglais OFC : Oxygen Free Copper), on augmente cette pureté dans des proportions étonnantes : 99,996 % est une valeur courante (JVC LC-OFC Class 1). Le procédé de désoxygénation consiste à amener le métal à sa température de fusion (850° C pour le cuivre) dans une atmosphère composée essentiellement d'hydrogène, celle-ci se combinant avec l'oxygène sous forme de vapeur d'eau.

Le métal ainsi purifié est ensuite extrudé, c'est-à-dire pressé à chaud au travers d'une

filrière de laquelle découlent les cristaux longs baptisés en anglais Linear Crystals (LC). Avec cette technologie, on réduit considérablement le nombre de cristaux formant le conducteur et donc la quantité de jonctions électriques entre ces cristaux où les problèmes se font jour.

Ce procédé d'extrusion permet d'expliquer également pourquoi certains câbles doivent respecter un sens au niveau du branchement. C'est la direction même dans laquelle le métal est extrudé qui détermine ce sens de branchement, tous les cristaux étant rangés dans le même sens au sortir de la filière.

Il n'y a pas que le cuivre qui soit utilisé comme conducteur. L'argent revient souvent, nous l'avons vu, sous forme d'anodisation, plus rarement à l'état pur (Kimber). Mais d'autres constructeurs vont encore plus loin en n'hésitant pas, comme Isoda, à panacher les différents métaux

(plomb, cuivre rouge, laiton, aluminium). Cette théorie s'appuie sur le fait que tous les métaux n'ont pas une courbe de réponse amplitude/fréquence identique et que subjectivement, leur rendu est également très différent. Le panachage joue sur les métaux mais aussi le diamètre des conducteurs et leur nombre. Ainsi, on arrive à obtenir un rendu cohérent sur l'ensemble du spectre. Une idée reprise depuis peu par d'autres constructeurs comme Monitor PC pour les liaisons vers les haut-parleurs.

Le rôle complexe des isolants

Un câble, ce n'est pas seulement un ou plusieurs conducteurs mais aussi une partie isolante généralement connue sous le nom de gaine et dont le rôle ne consiste pas seulement en une simple isolation électrique, même si ce rôle est prépondé-

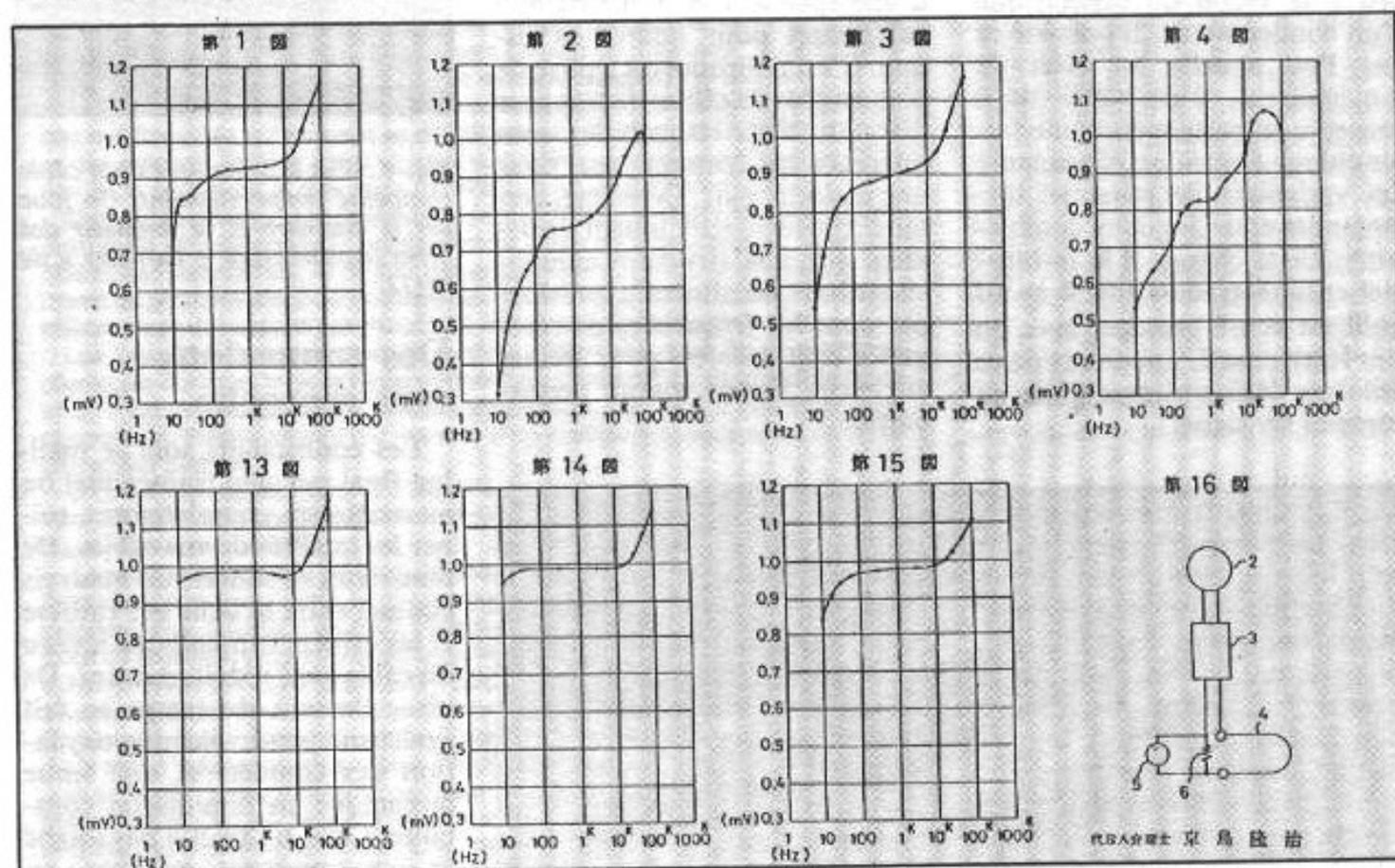


Fig. 2 : Courbes amplitudes/fréquence pour différents métaux. 1 : cuivre. 2 : laiton. 3 : aluminium. 4 : plomb. 13 : câble en cuivre tressé. 14 : câble hybride cuivre-laiton-aluminium-plomb. 15 : câble en cuivre monobron. Le câble hybride se distingue par une linéarité meilleure que celle de ses homologues en cuivre pur (doc. Isoda).

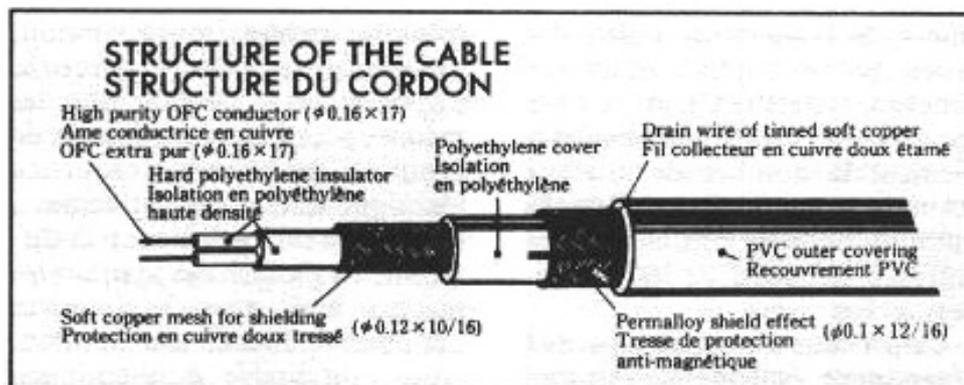


Fig. 3 : Vue schématique d'un cordon de modulation symétrique pourvu d'un double blindage et d'une triple isolation (Marantz ML-95L).

rant. Sans trop rentrer dans le détail, on peut dire que les isolants sont le lieu d'au moins deux phénomènes aussi indésirables qu'inattendus. Ces phénomènes sont directement liés aux propriétés d'isolation mécanique et électrique des différents corps utilisés comme isolants.

Voyons tout d'abord ce qui se passe au niveau électrique. L'isolant qui sépare les deux conducteurs d'un câble se comporte un peu à la façon du diélectrique d'un condensateur. Il possède ce que l'on appelle un effet de « mémoire », c'est-à-dire qu'il conserve en permanence une faible charge électrique dépendante des variations de potentiel instantanées entre les deux conducteurs. Cette charge, il la retransmet ensuite graduellement au fil qu'il est censé protéger avec un très léger retard, apportant de ce fait une légère dégradation au contenu du signal.

L'autre cause de pollution du signal est peut-être encore plus étonnante. Elle a trait aux propriétés mécaniques du matériau isolant. Placé dans un environnement sonore, celui-ci présente une fâcheuse tendance à se prendre pour une membrane de microphone de type condensateur dont les mouvements sont captés par les armatures figurées par les deux conducteurs. Il est donc important que la gaine soit d'une épaisseur et d'une rigidité suffisantes pour limiter ce risque. C'est pourquoi on trouve de plus en plus de câbles de très gros diamètre dans lesquels les conducteurs ne rentrent que pour une moindre part. De même, certains constructeurs jouent également sur une structure composite à base de plusieurs enveloppes dont les fréquences de résonance sont décalées pour freiner au mieux l'onde sonore perturbatrice.

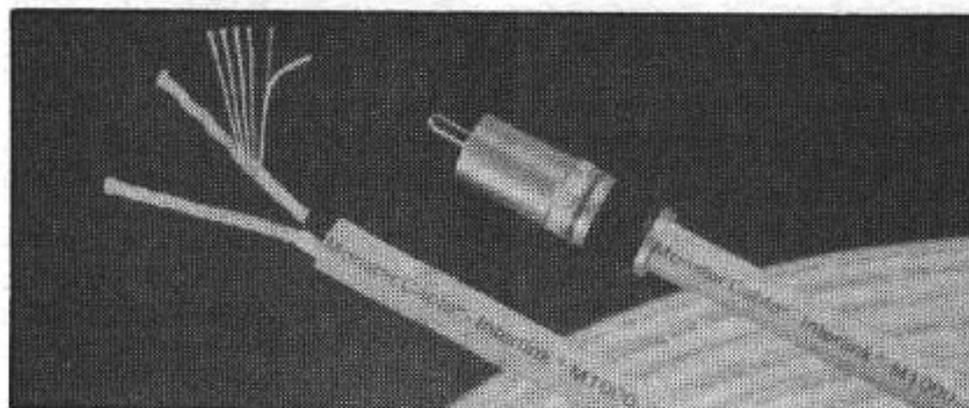


Fig. 5 : Un câble modulation symétrique et compensé temporellement (Monster Cable Interlink M 1000).

Dans le cas de câbles formés de brins multiples soumis à leur influence réciproque sous forme d'une force électromagnétique tour à tour attirante ou répulsive, le rôle de la gaine est aussi d'enserrer énergiquement les brins afin qu'ils ne puissent pas vibrer. Certains enfin poussent le raffinement jusqu'à doter leur câble d'un traitement anti-signal réduisant considérablement le bruit de fond (L'Espace, Mogami Prefer). On voit donc que la sonorité d'un câble n'est pas seulement dépendante du ou des métaux utilisés comme conducteurs mais est également étroitement liée aux qualités électriques et mécaniques de l'isolant.

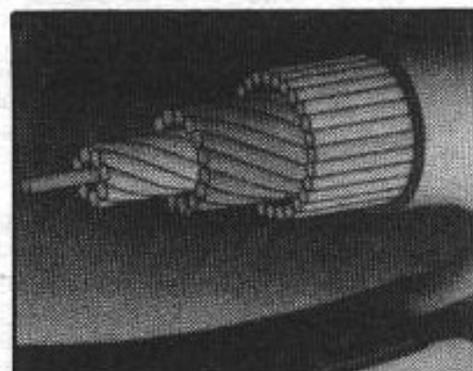


Fig. 4 : Vue schématique d'un câble compensé temporellement. On joue sur le diamètre et la longueur des brins (construction « Vari-Lay » de MIT).

Des connexions sans reproche

Les connecteurs sont le maillon final qui peut transcender ou au contraire complètement ruiner les qualités de vos câbles. De mauvaises soudures, un mauvais contact entre la fiche et l'embase et les efforts consentis au niveau du câble sont réduits à néant. De plus, l'assaut du temps se fait également sentir par une oxydation des contacts et une tenue mécanique en diminution constante. Cela, si l'on n'a pas soigné ce qui pourrait paraître au départ comme purement accessoire.

Câbles et connecteurs : le point de vue théorique

Il y a douze ans, le premier numéro de L'Audiophile jetait le pavé dans la mare somnolente du monde de l'audio, révélant une vague montante de contestations dont l'ardeur iconoclaste s'en prenait aux composants passifs, aux transistors, aux câbles, aux connexions, aux mesures, à la contre-réaction... provoquant intérêt, scepticisme, sourires ou scandale.

Depuis, la force de l'évidence sonore a montré à beaucoup le bien-fondé de certaines affirmations, initialement considérées comme farfelues. Mais on n'y voit pas encore très clair et si, avec l'analyse de certains phénomènes physiques intervenant dans les composants passifs, dans les transistors, dans les boucles de contre-réaction, on commence à entrevoir des débuts d'explication, faute d'une métrologie adaptée, capable de révéler des effets objectifs, il n'y a pas de progrès évident.

C'est encore plus vrai dans le domaine de l'interconnexion (câbles et connecteurs). Malcolm Hawksford a bien essayé dans *Hi-Fi News* (« The Essex Echo » dans les numéros de mai, août et octobre 1986 et de février 1987) d'expliquer l'influence des câbles de haut-parleur par l'effet de peau en utilisant les équations de Maxwell. Mais il conclut en disant lui-même que cette analyse purement linéaire ne saurait être suffisante. D'autres ont essayé de faire des mesures très fines sur les câbles en allant chercher des 1/100^e de décibel et des 0,000 % de distorsion, mais leur démarche ne permet toujours pas de comprendre et d'agir.

Et tant qu'on s'en tiendra à la théorie traditionnelle qui utilise Fourier sans en voir les limites, je crains qu'on ne fasse guère de progrès. Mais la théorie traditionnelle repose sur une trilogie si cohérente que les esprits sont très réticents à seulement admettre qu'elle a des limites. Ces trois fondements de la tradition sont :

- un modèle simpliste de l'oreille (un analyseur spectral) qui est censé expliquer tous les phénomènes auditifs et qui ignore tout des traitements des informations nerveuses issues de nos oreilles. Un peu comme certains croient avoir compris la vision en assimilant l'œil à une caméra de télévision ; si cela était si simple il y a longtemps que nos robots seraient capables de voir ;
- une modélisation des circuits qui ne connaît que des composants linéaires et des non-linéarités qui peuvent se définir par une fonction de transfert ;
- des mesures limitées à des signaux sinusoïdaux stables (amplitude en fonction de la fréquence et distorsion harmonique ou d'intermodulation).

Mais si les câbles et les connexions sont légèrement différents des modèles théoriques simplificateurs (c'est dans cette petite différence que se jouent les différences subjectives), ils ne sont pas pour autant (pas plus que les autres éléments de la chaîne électroacoustique) un espace magique où interviennent des phénomènes échappant par essence à la science de l'homme.

Les propriétés mystérieuses de certains câbles résultent de phénomènes physiques normaux mais qui interviennent au deuxième ou au troisième ordre et qu'il est difficile d'analyser expérimentalement par faute d'une métrologie complète ou théoriquement par manque d'un modèle théorique exact de notre perception auditive.

On peut néanmoins chercher à identifier les phénomènes physiques qui peuvent influencer sur la transmission d'une information audio-électrique sur un câble ou dans des connecteurs :

- Les courants circulant dans les câbles induisent et sont soumis à des forces électromagnétiques : outre le champ magnétique terrestre, il y a la pollution magnétique ambiante. Les deux câbles d'un haut-parleur sont soumis à une force de répulsion proportionnelle au carré du courant. S'il y a mouvement, il y a échange d'énergie donc force contre-électromotrice et s'il y a mouvement dans un champ magnétique il y a force électromotrice (comme dans un microphone). Ces interférences entre phénomènes électriques et mécaniques sont fonction de la tenue mécanique des câbles et des isolants. Mais quand on fait des calculs pour mettre des ordres de grandeur sur les forces, les mouvements et les tensions mises en jeu pour des signaux en régime établi, on trouve des chiffres si faibles qu'on a du mal à croire que, même en régime transitoire, ces phénomènes puissent être audibles s'ils sont seuls à intervenir.

Les fabricants de connecteurs sont légion et souvent les mêmes que ceux qui fabriquent du câble. Parmi les plus réputés, citons **WBT**, **Tiffany** dont les produits sont largement copiés à Taiwan et ailleurs, **Esoteric Audio**, **Monster**, **Monitor PC**, impossible de tous les citer. Les meilleurs connecteurs sont usinés dans du bronze à base de cuivre OFC avec une surface plaquée or à 24 carats et un isolant téflon. Leur prix peut atteindre dans ce cas plusieurs dizaines voire centaines de francs. On est loin de la Cinch en nickel à trois francs cinquante trouvée chez l'électricien du coin !

Pour assurer le meilleur contact possible de la fiche sur son embase, toutes les ruses sont possibles, depuis le manchon équipé d'un ressort jusqu'à la prise vissante sans oublier celle dont la pointe s'écarte à l'aide d'une vis. Si, en modulation, la Cinch est désormais et heureusement universellement répandue, en liaison haut-parleur, le choix est plus vaste et s'étend de la fiche banane à la cosse pointue ou à fourche avec une prépondérance marquée pour la première solution. Les fils peuvent être soudés — on choisira dans ce cas une soudure comportant de 3 à 4 % d'argent — ou encore sertis à l'aide d'un outil spécial (**WBT**). Cette opération sera généralement effectuée par votre revendeur qui en a l'habitude.

Les chemins qui mènent à la félicité

Le choix des matériaux constituant le câble n'est encore qu'un aspect du problème consistant à la définition finale du produit. Car les concepteurs disposent encore de toute une panoplie de configurations pour parvenir à leurs fins. Nous voulons parler de celle des conducteurs à l'intérieur du câble. Si, en liaison haut-parleur, les choses sont encore assez simples, la majorité

— Les phénomènes électromagnétiques cherchent à déplacer les conducteurs, ils déplacent aussi les courants vers la surface du conducteur : c'est le fameux effet de peau. Son influence croît avec la fréquence, elle est maximale pour quelques centaines de kilohertz ; au-delà l'onde associée au courant devient prépondérante dans la propagation du signal. Mais ses effets peuvent s'analyser avec les modèles théoriques linéaires connus et se mesurer avec les moyens classiques. Ici encore, il est difficile de croire que ce phénomène puisse expliquer par sa seule action le mystère des câbles.

— Au sein d'un cristal conducteur, la conduction est assurée par des électrons ayant un niveau d'énergie correspondant à la bande de conduction. A la jonction de deux conducteurs ou de deux cristaux, interviennent différents phénomènes : électrochimique, potentiel thermoélectrique, effet Pelletier, effet de jonction... Ces phénomènes dépendent de la nature chimique des milieux conducteurs au contact de la température et du courant. Leurs effets sont loin d'être toujours négligeables puisque certains dispositifs les utilisent (par exemple un objet généralement appelé transistor à jonction). Lorsqu'ils ne sont pas voulus, les effets restent généralement faibles, mais ils peuvent, par exemple, devenir catastrophiques sur une prise oxydée. C'est pour limiter ces phénomènes que certains câbles utilisent des conducteurs très purs (par exemple cuivre à 99,999 %, cuivre désoxygéné, aluminium...), parfois en monocristaux.

— Le milieu ambiant peut aussi intervenir (je pense surtout à l'isolant) par ses propriétés diélectriques qui peuvent jouer sur la propagation et sur la capacité parasite du câble.

On peut penser que c'est la combinaison de plusieurs de ces phénomènes dont les actions peuvent se conjuguer qui définit les propriétés subjectives des différents câbles et qu'un jour, avec les outils théoriques et expérimentaux appropriés, on saura expliquer pourquoi on peut entendre ces interactions thermo-mécanico-chimico-électriques. Mais aujourd'hui la théorie ne sait nous guider dans la jungle des câbles.

Que faire dans ce marché en pleine expansion, devant tant de produits qui nous sont tous vantés comme autant de merveilles et dont les prix peuvent parfois sembler très éloignés des prix de revient réels, comment trouver des points de repère, comment discerner le bon produit des attrape-gogo qu'une telle confusion ne peut que susciter ?

Comment tous ces produits ont-ils été conçus ? Sur quelle base théorique ou expérimentale ? De ce point de vue, les câbles Isoda, semblent les plus satisfaisants puisque leur conception repose sur une longue démarche systématique et empirique comme seuls les Japonais, avec leur patience et leur esprit de système, savent en réaliser. Mais on peut légitimement se demander dans quelle mesure leurs résultats ne sont pas prisonniers des conditions expérimentales utilisées et cela n'interdit pas à un câble concurrent, même moins minutieusement conçu, d'être meilleur.

On en est réduit à des comparaisons empiriques pouvant devenir rapidement très onéreuses, ou à s'en remettre à un « expert » auquel on peut faire confiance et qui a déjà « débroussaillé le terrain ».

Les considérations théoriques poussent toutefois à rechercher à limiter les interconnexions et à privilégier dans cette démarche les câbles de haut-parleurs puisque les phénomènes recensés plus haut sont d'autant plus actifs que les courants sont importants et que les impédances sont faibles. Cela veut dire rapprocher l'amplificateur de puissance des enceintes, en veillant aux effets microphoniques (surtout pour les amplificateurs à tubes). Les parasitages et ronflements qui peuvent résulter d'une liaison plus longue entre préamplificateur et amplificateur se maîtrisent assez facilement.

Et que penser des cordons d'alimentation spéciaux dont certains disent le plus grand bien ! Je pense que leur effet ne peut se faire qu'avec des circuits mal protégés des caprices des alimentations et des alimentations mal découplées du secteur, mais je peux me tromper. Dans ce cas, faut-il repenser toute mon installation électrique, comment convaincre EDF de modifier son réseau depuis la centrale et comment choisir entre un barrage, une centrale thermique et une centrale nucléaire ?

Héphaïstos

des câbles étant constituée de deux conducteurs parallèles, en modulation on trouve par contre à peu près tout avec, semble-t-il, comme seule limite l'imagination des concepteurs. Les tenants des câbles blindés s'affrontent à ceux qui ne jurent que par l'absence de blindage, une solution qui donne de très bons résultats si l'on se limite aux liaisons à haut niveau et que l'on se trouve dans un environnement non soumis aux perturbations radio-électriques. A l'opposé, il y a ceux qui redoublent de précautions en adoptant comme **Marantz** la solution du double blindage (électrique et magnétique). Certains se servent du blindage comme retour pour la modulation, d'autres préfèrent, et cela semble logique, recourir à une structure symétrique pour le transport de la modulation (deux conducteurs parallèles et identiques). Le blindage est alors vraiment un blindage et se trouve relié à la masse de l'appareil qui reçoit la modulation, ce qui, là aussi, définit un sens au câble. Ce blindage peut prendre la forme d'une tresse ou d'une simple feuille métallique enroulée autour du câble à protéger (**Supra**).

Le cas des câbles dits « compensés temporellement » dont le **MIT** est le représentant le plus prestigieux est assez original et différent pour qu'on en donne une explication un peu plus détaillée. L'idée développée sur ce type de câble est d'arriver à une mise en phase parfaite de toutes les fréquences qui composent le spectre audio. On sait en effet que plus la fréquence du signal augmente, plus le courant a tendance à se déplacer à la surface du conducteur. C'est le phénomène que l'on appelle couramment effet de peau, en anglais « skin effect ». Le haut du spectre parcourt donc le câble en un temps infinitésimement plus court que la partie basse. La plus

grande difficulté consiste donc à s'arranger pour que toutes les fréquences parcourent le câble dans le même temps afin que la phase soit intégralement respectée.

A cela diverses solutions exploitées notamment par MIT sur ses câbles. Une construction panachant des fils de différents diamètres et de différentes longueurs savamment tressés pour retarder les fréquences aiguës par rapport aux fréquences graves (« Vari-Lay »), ou encore une « boîte noire » avec des composants passifs placée à l'entrée du câble et qui effectue une correction en phase afin que le temps de propagation de groupe demeure constant quelle que soit la charge (« CVT : Constant Velocity Transmission »). Chez **Monster** également, les câbles les plus aboutis sont symétriques et compensés temporellement (« Bandwidth Balanced »).

Impossible de ne pas évoquer

dans ce chapitre les techniques de bi ou tri-câblage appliquées aux enceintes qui jouent sur la séparation des masses entre cellules de filtrage et dont l'apport sur le plan de l'écoute se révèle dans la majorité des cas indiscutablement positif.

La connectique, un secteur plein d'avenir

Avec la prolifération des sources numériques au chapitre desquelles le lecteur CD vient en tête et celle qui lui est concomitante des convertisseurs indépendants, se pose le problème de leur liaison. L'expérience dans ce domaine est encore jeune, mais montre assez clairement que les phénomènes constatés sont assez comparables à ceux de l'audio classique (se reporter par exemple au Forum du présent numéro).

Quoi qu'il en soit, la brèche

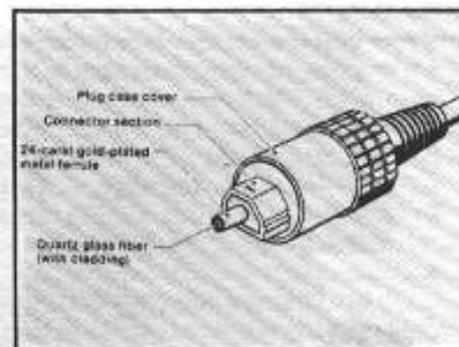
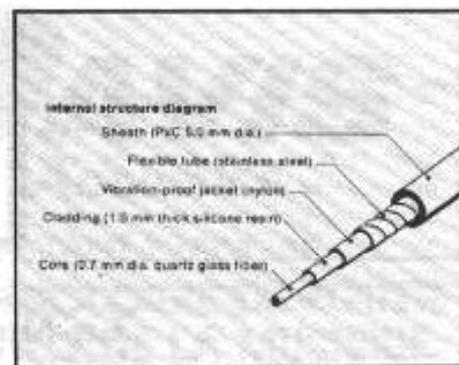


Fig. 7 : Vue schématique d'une fibre optique de haut niveau (JVC XN-705 Pro).

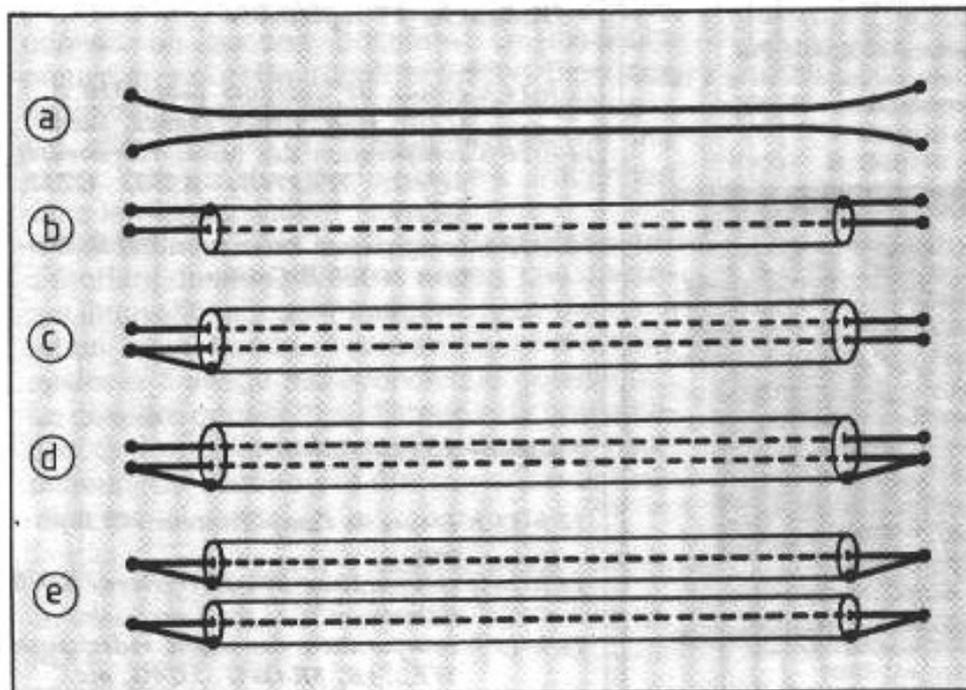


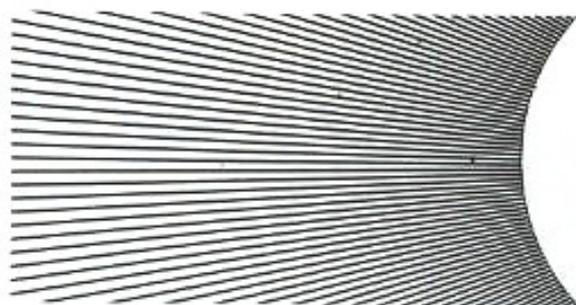
Fig. 6 : Tableau présentant différentes configurations de câbles-modulation parmi les plus courantes. a : symétrique non blindé. b : blindé classique. c : symétrique avec blindage présentant un sens de branchement. d : symétrique avec blindage relié aux deux bouts. e : double blindé symétrique.

est ouverte et de nombreux constructeurs s'y engouffrent, tels **JVC**, actuellement le seul à notre connaissance à proposer une fibre optique de qualité supérieure. En numérique comme en audio, il est important que le signal soit transporté avec un minimum de dégradation et des câbles coaxiaux spécifiques existent déjà (**L'Espace**, **Accuphase**, **JVC**, **Audioquest**).

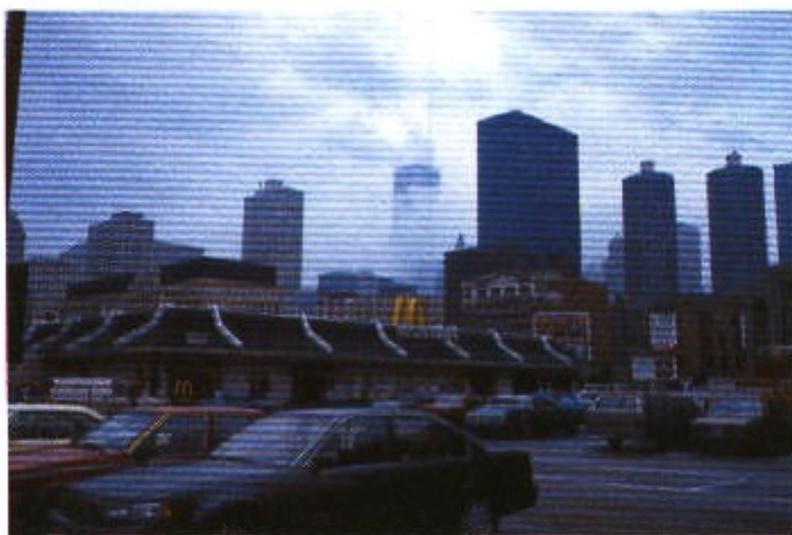
De ce domaine, la connectique, en pleine mutation et où les produits se comptent par centaines, il est difficile de rendre compte en n'oubliant personne. Dans notre esprit, cet article constitue plutôt une introduction, une sorte de « mise en jambes », destinée à ouvrir au lecteur les perspectives de ce qui devrait prendre dans les prochains mois la forme d'un vaste dossier dans lequel nous nous livrerons notamment aux délices d'une évaluation par l'écoute comparative. Patience donc...

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**



Qu

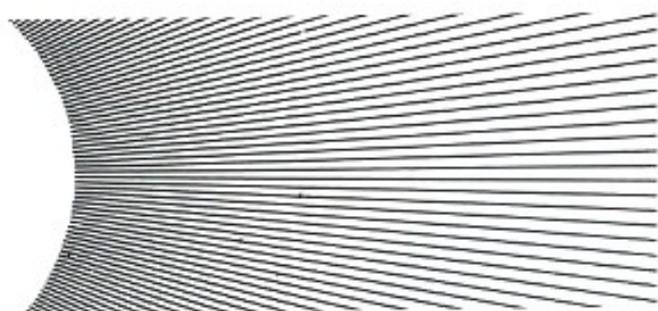


CES CHICAGO 89

L

Le dernier Consumer Electronics Show a été particulièrement enrichissant en matière de nouveautés audio aussi bien en électronique qu'en transducteurs. On a pu constater aussi une tendance des plus prestigieuses marques de haute-fidélité vers la réalisation de produits plus accessibles financièrement tout en bénéficiant d'un grand nombre de solutions technologiques appliquées aux modèles les plus onéreux. Autre tendance : une prolifération de matériels à tubes, démontrant s'il en était encore besoin que les lampes ont encore de beaux jours devant elles pour le plus grand plaisir musical de nos oreilles.

ID



Chez **KRELL**, de nombreuses nouveautés avec, tout d'abord la version définitive de la platine MD-1 lecteur CD (présentée au cours de Musique dans le Marais) avec un chargement par le dessus plus plalet-presseur, suspension très efficace pour éliminer les résonances parasites, télécommande à infra-rouges et sorties digitales coaxiales et à fibre optique. Le MD-1 doit fonctionner avec un convertisseur indépendant extérieur. Deux modèles très sophistiqués sont proposés : SBP 16X (16 fois la fréquence de suréchantillonnage) et SBP 64X (64 fois !) avec filtre hyper-sophistiqué. La ligne électronique se voit adjoindre les modèles KBL, préampli ligne avec deux entrées symétriques et sorties selon le même mode et KPA, préampli-phono universel avec correction RIAA ajustable dans l'aigu pour modeler la courbe de réponse en fonction des caractéristiques techniques de la cellule ainsi que de nouveaux amplificateurs dont nous vous parlerons bientôt.

SEQUERRA, un nouveau « petit » tuner est prévu au début septembre, qui sera commercialisé autour de 30 000 F et qui viendra prendre place à côté du prestigieux aîné qui continue naturellement sa carrière avec quelques modifications le rendant très actuel. Le « petit » SEQUERRA reprend la plupart des possibilités du grand avec, naturellement l'oscilloscope de contrôle. Il a été mis au point par David Roth, grand spécialiste de la H.F.

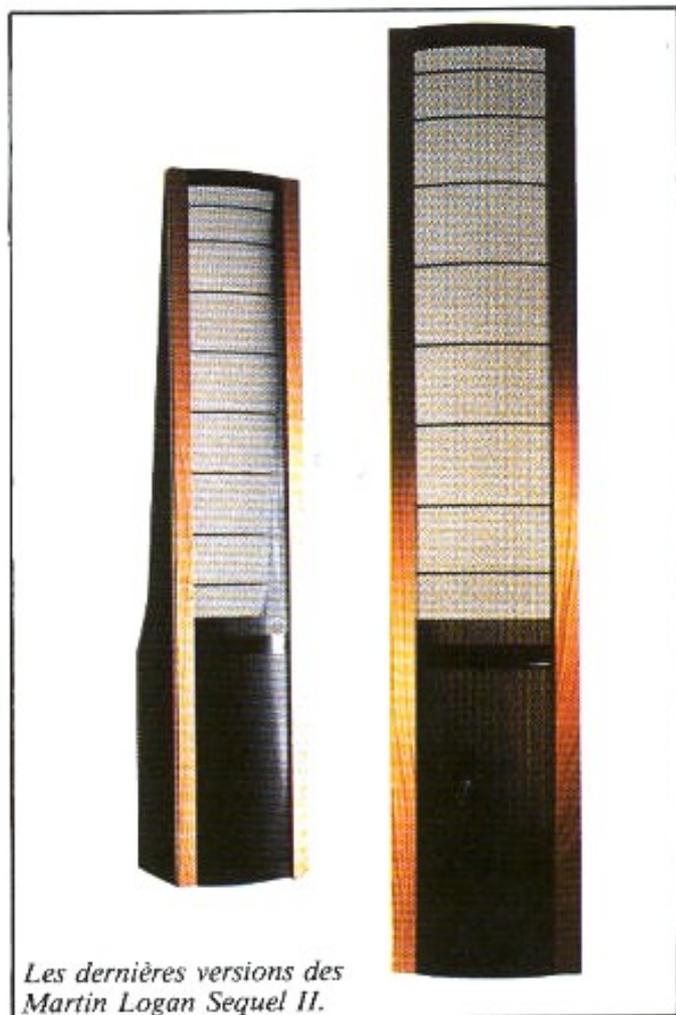
Le fabricant, **VERSA DYNAMICS**, de tables de lecture avec plateau suspendu sur coussin d'air ainsi que bras de lecture et aspiration du disque, propose un nouveau, le Model, version légèrement simplifiée qui sera disponible autour de 60 000 F.

POLYDAX, Audax aux USA, offre toute la gamme des nouveaux haut-parleurs à diaphragme plan et les tweeters et médium à dôme.

VECTEUR présente aussi une table de lecture de très haut de gamme munie d'un système particulier d'aspiration.

Le système **MARTIN LOGAN**, Statement, fonctionnait conjointement avec les électroniques Krell (et curieusement un tuner Sequerra, « habillé » en Krell, dernière version). Les dernières versions des Sequel II ainsi que des CLS II remportaient un succès non démenti (écoute superbe).

Nous aimons beaucoup pour leur incroyable transparence sonore les électroniques **MEITNER AUDIO** de chez Museatex. La gamme s'est agrandie avec la venue des ensembles Melior, préampli à télécommande avec affichage digital à cristaux liquides et entièrement programmable, ainsi que l'ampli avec MosFets en sortie capable de fournir à la fois une tension et un courant élevés (les dissipateurs thermiques de formes particulières assurent une excellente dissipation des calories excédentaires).



Les dernières versions des Martin Logan Sequel II.



*Le nouveau lecteur CD
Krell MD-1.*

CONRAD-JONHSON, décidément très prolifique, proposait un ampli hybride tubes-transistors MosFets, CTF 200, 2 x 200 W, avec une présentation très réussie mettant en valeur les tubes à la manière des hybrides de Luxman. Le nouvel ampli MF 80 tout MosFet a été spécialement étudié comme complément direct du préampli-lecteur C.D., formule qui a retenu l'attention de plus d'un audiophile.

ROWLAND RESEARCH, toujours aussi dynamique, offrait un nouveau préampli en deux boîtiers séparés, Consonance, avec télécommande ainsi qu'un nouvel ampli de 60 W par canal, Modèle 1.

Vous découvrirez dans le présent numéro le convertisseur **WADIA** 2000 qui dépasse tout ce que nous avons pu entendre jusqu'à présent, ce constructeur voulant faire bénéficier à un plus grand nombre les extraordinaires qualités de ses circuits spéciaux proposant à un prix plus modeste le Digital 1000, sur lequel nous aurons l'occasion de revenir.

Dans la série des convertisseurs indépendants sans compromis, il faut aussi signaler que **STAX** propose, avec le DAZ X1T, un convertisseur à tubes de type 20 bits ultra-linéaire avec un système d'isolation très complexe et étage de sortie MosFet plus tubes 12 AX7. Nous sommes impatients d'écouter le résultat.

Chez **ACOUSTAT**, un nouveau transducteur hybride vient de voir le jour sous la référence 11 avec cellule électrostatique prenant le relais d'un électrodynamique de 21 cm au-delà de 300 Hz. Le prix est très raisonnable par rapport aux qualités musicales.

Chez **MAGNEPAN**, le MG 20 qui ne sera commercialisé qu'à la fin de l'année, reprend l'idée du système isodynamique travaillant en push-pull dans le grave (deux membranes parallèles), relayé par un ruban dans le médium-aigu, capable de descendre jusqu'à 300 Hz. Un prestigieux système combinant le meilleur des deux technologies.

APOGEE a créé la surprise avec la Stage 1, système « miniature » reprenant les formes de la Diva ou de la Duetta, mais avec une hauteur de seulement 1,10 M, capables d'être attaquées par n'importe quel type d'amplificateur de 50 W. Son prix, très concurrentiel, lui permettra de lutter contre d'autres systèmes,

d'autant plus que l'on retrouve les qualités de base des enceintes Apogée avec une excellente réponse jusque dans l'extrême-grave et une tenue en puissance extraordinaire.

Chez **AUDIO RESEARCH**, après la salve de nouveautés présentée récemment (Classic 30, Classic 60, SP9, etc.) on souffle un peu, mais déjà d'autres électroniques sont en gestation.

Les constructeurs anglais ont aussi montré beaucoup de dynamisme au cours de cette exposition. Ainsi **MISSION** offrait à l'écoute son gigantesque système 767 à 5 haut-parleurs placés de manière symétrique de part et d'autre du tweeter avec charge par pavillon elliptique. Ce système est capable de descendre jusqu'à 20 Hz avec du niveau pour un rendement de 91 dB/1 W/1 m.

ARISTON complète sa gamme électronique avec un très beau tuner à 8 stations pré-réglables et un petit lecteur C.D.

De même chez **REGA**, on se tourne aussi vers les électroniques et les haut-parleurs avec la réalisation de plusieurs modèles complétant la gamme des platines.

Au C.E.S. étaient présentées les enceintes 2 voies avec baffle support incliné et disposition symétrique des haut-parleurs.

CAMBRIDGE AUDIO, qui a été récemment repris, en Angleterre, par le gigantesque groupe Hi-Fi Market (et dont les produits vont être de nouveau importés en France dès le début septembre) proposait de nouvelles versions des P50 et P70 avec des circuits totalement retravaillés, un nouveau lecteur CD3 et convertisseur DAC3 qui seront certainement suivis par de nouveaux modèles très originaux.

Parmi les constructeurs français, soulignons une nouvelle fois les efforts d'**YBA** qui présentait avec classe son nouveau préampli ainsi que toute sa gamme électronique fort appréciée à juste titre par les critiques des revues spécialisées Outre-Atlantique.



*La petite
Apogée Stage 1,
les qualités de base
des grands systèmes sous
un encombrement raisonnable.*

Pour la Suisse, **GOLDMUND** offrait en avant-première l'écoute des enceintes Analogue, se présentant en deux boîtiers indépendants à la manière des Apologue, selon la même esthétique due à Claudio Rotta Lauria.

La firme canadienne **CLEMENT** reprenait l'idée du système hybride ruban médium-aigu avec lentille acoustique pour le haut du spectre et électrodynamique pour le grave.

INFINITY présentait un étonnant petit système 2 voies avec tweeter EMIT, dit Modulus, qui peut être complété par un subwoofer avec ampli d'asservissement de 200 W.

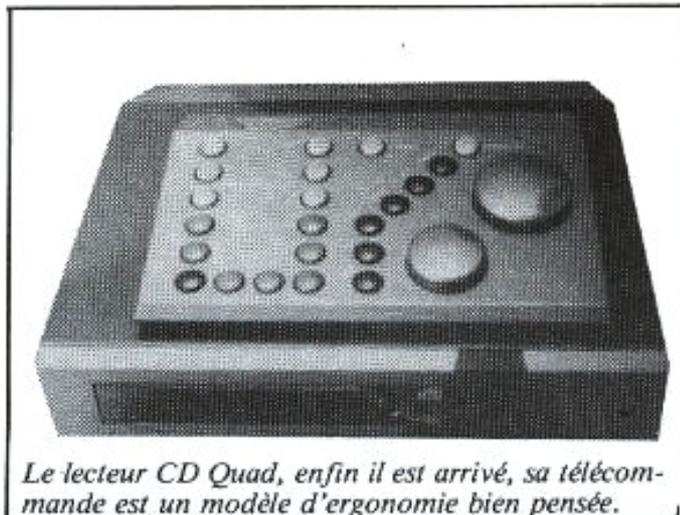
Parmi les grandes marques japonaises, la bataille semble plutôt faire rage du côté vidéo avec, d'un côté les tenants du Super VHS et de l'autre la venue du nouveau standard High Band. Cependant, ils ne restent pas inactifs au niveau de l'audio et se tournent de plus en plus vers les petits intégrés musicaux qui risquent de « faire mal » à quelques constructeurs de moyenne importance dont c'était jusqu'à présent la chasse gardée.

PHILIPS a profité de l'occasion pour révéler son nouveau convertisseur Bitstream, de nouvelle technologie éliminant les problèmes de linéarité et autres erreurs des convertisseurs conventionnels avec un sur-échantillonnage de 256 fois (!) que l'on risque fort de retrouver dans d'autres réalisations de haut de gamme de constructeurs tels que Marantz.

On se remue donc beaucoup autour des techniques digitales pour affiner l'analyse des signaux et obtenir une transcription très pure, pratiquement irréprochable et proche de l'analogique... mais nous nous sommes laissés dire que même la firme **LINN** se pencherait actuellement sur un convertisseur professionnel qui balayerait tout ce que l'on peut entendre actuellement. Alors...

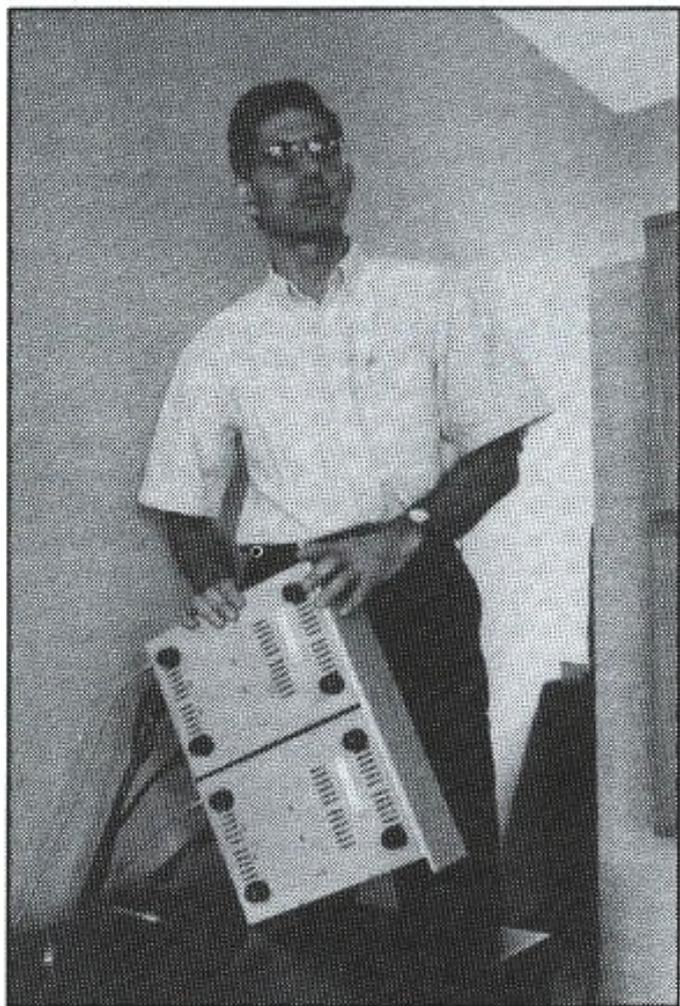
Chez **MARK LEVINSON**, présentation sous le nom de « Madrigal » (la société qui produit les appareils MLAS et les distribue) d'un lecteur CD de forme inhabituelle parallélépipédique avec les circuits enfichés à 90° pour éviter les interactions, double alimentation totalement indépendante avec 11 alimentations stabilisées, et convertisseur 18 bits. La stabilité de la mécanique a été obtenue avec une base en vrai marbre et une suspension très élaborée pour éliminer les vibrations parasites.

Autres nouveautés attendues depuis fort longtemps : le lecteur C.D. **QUAD** et le préampli G6 reprenant le même design étaient présentés en avant-première. Bien sûr, nous reviendrons, au cours d'un article complet, sur le lecteur C.D. Quad qui présente, comme on pouvait s'en douter, nombre d'originalités marquantes, dont une extraordinaire télécommande, hyper-simple à utiliser, avec un gros boutons rotatif pour la commande de volume en lieu et place des abominables touches avec lesquelles on ne trouve jamais le palier correct. Hyper bien pensé dans le sens d'une utilisation domestique où la facilité prime, ce lecteur C.D. Quad se distingue aussi par une sonorité (d'après les dires de ceux qui l'ont écouté) véritablement enchanteuse. L'esthétique est très réussie, ce qui ne gêne rien.



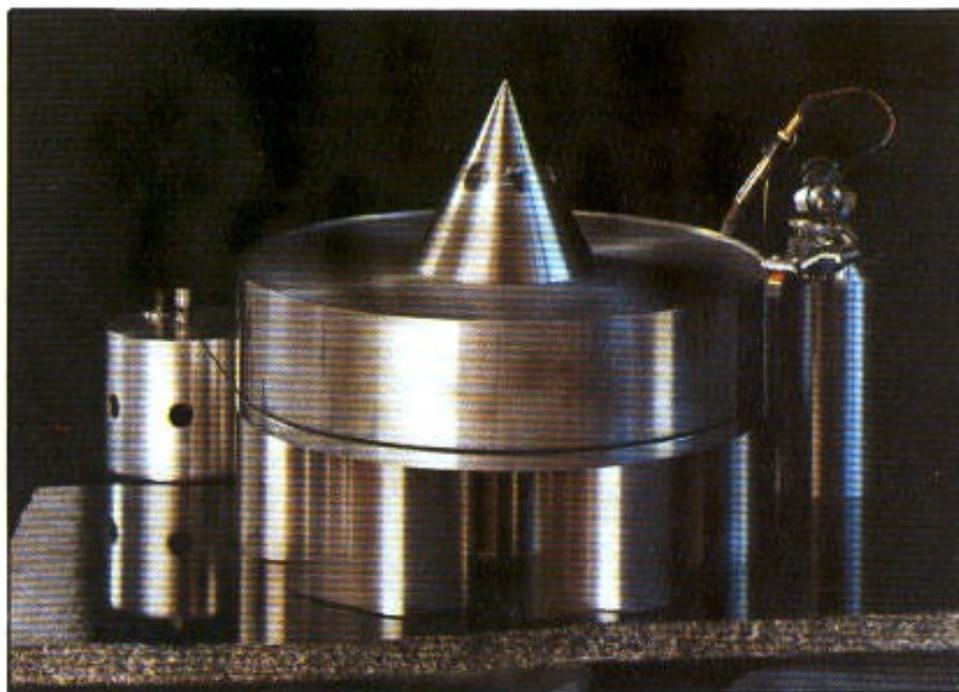
Le lecteur CD Quad, enfin il est arrivé, sa télécommande est un modèle d'ergonomie bien pensée.

Chez **CELLO**, M. Mark Levinson présentait un nouvel ampli dénommé « Encore » de 2x50 W, présenté sous la forme de deux blocs monos physiquement attachés par la façade avant. L'écoute est d'une rare subtilité.



M. Mark Levinson se concentre avant de soulever son ampli "Encore".

Chez **CALIFORNIA AUDIO LABS** deux nouveaux lecteurs CD, le Tercet III avec double convertisseur 18x8 bits, filtre digital 24 bits et 23 alimentations (!) et le Icon 18x8 bits, filtre digital 24 bits et étage analogique à FETs.



Concept 33

De jour en jour, d'année en année, notre vie s'imprègne de technologie numérique. Thomas Brinckmann, lui, fait partie de ceux qui croient toujours au perfectionnement des systèmes analogiques. A l'heure où les tables de lecture analogiques ont pratiquement disparu du marché, la mise en vente, en série limitée, de la Concept 33 ne manque pas de se faire remarquer, ne serait-ce que par son esthétique futuriste. Son plateau d'aluminium et de plomb supporte six gros cylindres d'acier inoxydable. Ce plateau de 31 kg est entraîné par courroie et par un moteur Papst. Une particularité très intéressante de cette table de lecture est son système de plateau auto-aspirant ultra-simple et efficace. De quoi mettre en valeur les nouvelles (et peut-être les dernières) cellules MM et MC de très haut

de gamme. Une transcription d'une telle transparence n'a pas été sans nous rappeler les deux ou trois meilleures tables de lecture conçues jusqu'à présent, son prix, de l'ordre de 25 000 F, étant par contre nettement inférieur. Le système à plateau aspirant ainsi que l'absence de couvre-plateau sont sur cette table de lecture d'une efficacité incontestable. De la musique transcrite avec autant de sensibilité, d'émotion, nous fait comprendre comment on ne peut croire qu'aux systèmes analogiques.

Thomas Brinckmann 65, rue Saint-Dominique 75007 Paris. Tél. 47.05.38.19.

J.H.

Nouveauté chez Elipson

Le grand constructeur français Elipson ne reste pas les deux pieds dans le même sabot, comme le prouve l'arrivée d'une nouvelle mini dans la gamme « Graphite Line » ; sa référence : Mini-Orphée.

A ce propos, rappelons que cette série d'enceintes bénéficie des dernières innovations technologiques concernant les trois éléments essentiels d'une enceinte acoustique (haut-parleurs, ébénisterie, filtre).

— *Elipson a développé à cet effet des haut-parleurs dont la membrane papier reçoit sur toute sa surface une couche de poussière de graphite. Ce traitement, encore jamais utilisé de manière industrielle, offre pour principal avantage d'améliorer considérablement la rigidité du papier tout en amortissant ses éventuelles colorations. Il va sans dire que l'extrême légèreté du graphite permet de conserver la légèreté originelle du support papier.*

— *Les filtres, dont les masses sont soigneusement réunies en étoile, mettent en œuvre des réseaux compensateurs (impédance, phase) autorisant l'obtention d'un signal conforme à l'original.*

— *La structure des ébénisteries a été optimisée de manière à réduire les vibrations des parois aux endroits les plus sollicités.*

Tous ces efforts se trouvent confirmés par des résultats d'écoute mettant en avant une remarquable transparence et une grande homogénéité dues à une bonne réponse impulsionnelle.

La Mini-Orphée se présente sous la forme d'une colonne 3 voies dont la largeur ne dépasse pas 18 cm pour 60 cm de hauteur sur une profondeur de 21 cm, deux transducteurs de 13 cm se chargent respectivement des spectres grave et médium, tandis qu'un tweeter de 25 mm reproduit les fréquences aiguës. Si vous disposez de peu de place, la Mini-Orphée peut s'avérer salvatrice. A suivre...

C.B.

Nouveauté : Lectron JH 30 ; le petit frère...

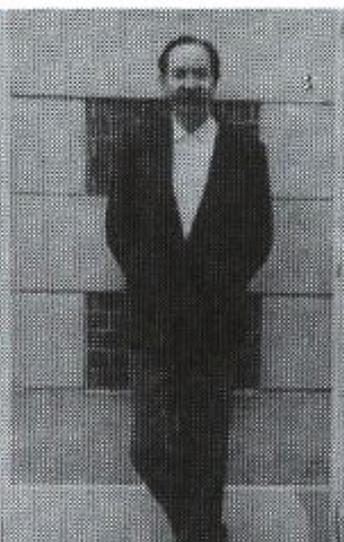
Le nouveau Lectron, JH 30, est un ampli-préampli intégré de 2x30 W dont les étages d'entrées et drivers sont entièrement transistorisés, tandis qu'un push-pull de tubes EL 84 est mis en œuvre pour l'étage de puissance. A l'écoute, le JH 30 se caractérise par un très riche rendu des harmoniques supérieurs, une vivacité et une dynamique étonnante, sans qu'aucun côté « typé » tube ou transistor ne vienne entâcher une transparence très inhabituelle.

C.B.

J.-C. Verdier récidive

Après sa désormais célèbre platine tourne-disque de plus de 50 kg, archétype d'une réalisation mécanique sans compromis, M. Jean-Constant Verdier présente une gamme d'électroniques à tubes fonctionnant selon le principe de la pure classe A. Dire que l'amplificateur hybride J.C. Verdier 250/275 nous a littéralement séduit serait bien en-deçà de la vérité. En effet, cette splendide unité stéréophonique réunit à la fois les indéniables qualités musicales du tube électronique et celles de la technologie semiconducteur utilisée ici pour les étages d'entrée et drivers.

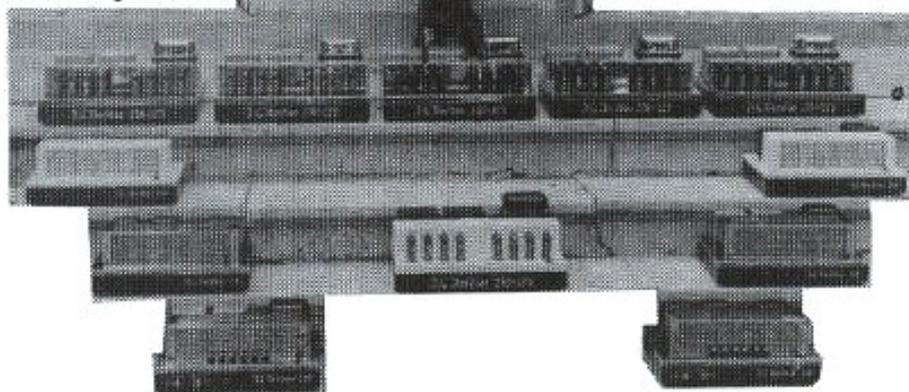
Une originalité unique au monde caractérise le J.C. Verdier 250/275 : il est possible de faire évoluer à volonté la forme du spectre de



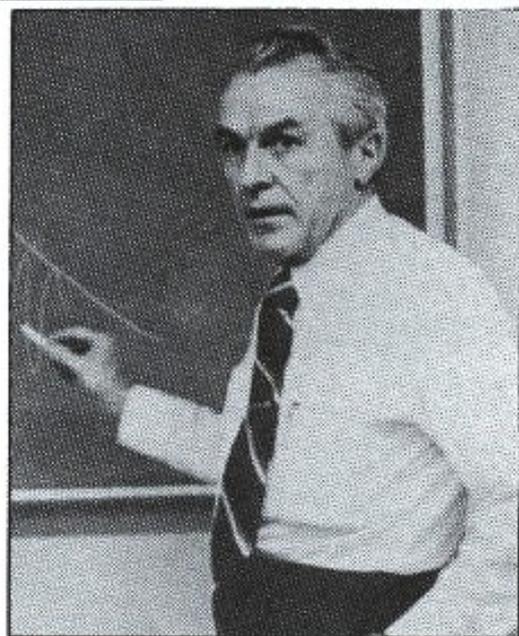
distorsion harmonique (voir dossier « Amplis à tubes ») ! A l'écoute, cet amplificateur s'est révélé comme l'un des meilleurs sur les critères d'ouverture sonore et de dynamique. Cette électronique nous a également surpris par des timbres d'une richesse et d'une beauté rarement rencontrées sur des appareils parfois considérablement plus onéreux. Attention, il ne s'agit pas d'une erreur d'impression, il ne coûte que 15 000 F (version peinte) ! Splendide... d'autant que le petit modèle JC 210 est disponible au prix de 2 950 F en kit. Qui dit mieux ?

Laboratoires J.C. Verdier
5-7, rue d'Ormesson 93800 Epinay-s/Seine.
Tél. 48.41.89.74.

C.B.



IN MEMORIAM



M. Gordon Gow, président de la Société Mac Intosh en train d'expliquer au tableau noir les avantages de la configuration de l'un de ses circuits de puissance.

Toute l'équipe des Editions Fréquences a été particulièrement attristée par la disparition de M. Gordon Gow ; la plupart d'entre nous l'avait bien connu et pu apprécier ses qualités humaines ainsi que l'amitié qu'il portait à notre maison. M. Gordon Gow possédait d'extraordinaires connaissances aussi bien en matière de schémas électroniques que de production ou de gestion. Epris de perfection absolue dans tous les domaines, il a su hisser la firme Mc Intosh au niveau de la légende. Avec M. Franck Harry Mc Intosh (qu'il connut au cours de la seconde guerre mondiale dans la marine U.S.) ils réalisèrent, dès 1946, le premier amplificateur audio « 50W1 » qui, par ses performances établissait un nouveau standard de référence. Par la suite, il sut insuffler à toute son équipe sa quête permanente de réalisations sans compromis, relevant sans cesse la barre des performances mesurables et audibles et établissant de nouvelles références en matière de qualité de fabrication et de fiabilité. Très clairvoyant sur toutes les nouvelles techniques, il savait parfaitement discerner avec pragmatisme les avantages et inconvénients de tel ou tel type de configuration de circuits en ne perdant jamais de vue la notion fondamentale de fiabilité, un produit Mc Intosh se devant de défier le temps. Il avait su aussi créer au sein de son entreprise un extraordinaire climat de travail propice aux réalisations exceptionnelles.

Nous présentons à sa famille ainsi qu'à tous ses collaborateurs nos très sincères condoléances.

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

- Réalisation personnelle

Gérard Chrétien



Le projet initial de cette réalisation a été basé sur deux idées maîtresses : vous proposer un kit d'encombrement réaliste compatible avec un environnement que nous qualifierons de « standard » d'une part, cela en restant fidèle à l'approche de la transduction qui nous a toujours tenu à cœur, le haut rendement d'autre part. Ces deux impératifs ne sont pas évidents à concilier pour la simple raison que le haut rendement implique des volumes de charge conséquents pour le haut-parleur de grave afin d'obtenir une réponse suffisamment étendue dans les basses fréquences et ainsi conférer à l'ensemble un équilibre tonal irréprochable. Cette notion de balance tonale reste, à notre sens, le critère à satisfaire en priorité, la dynamique, la définition, l'image venant ensuite.

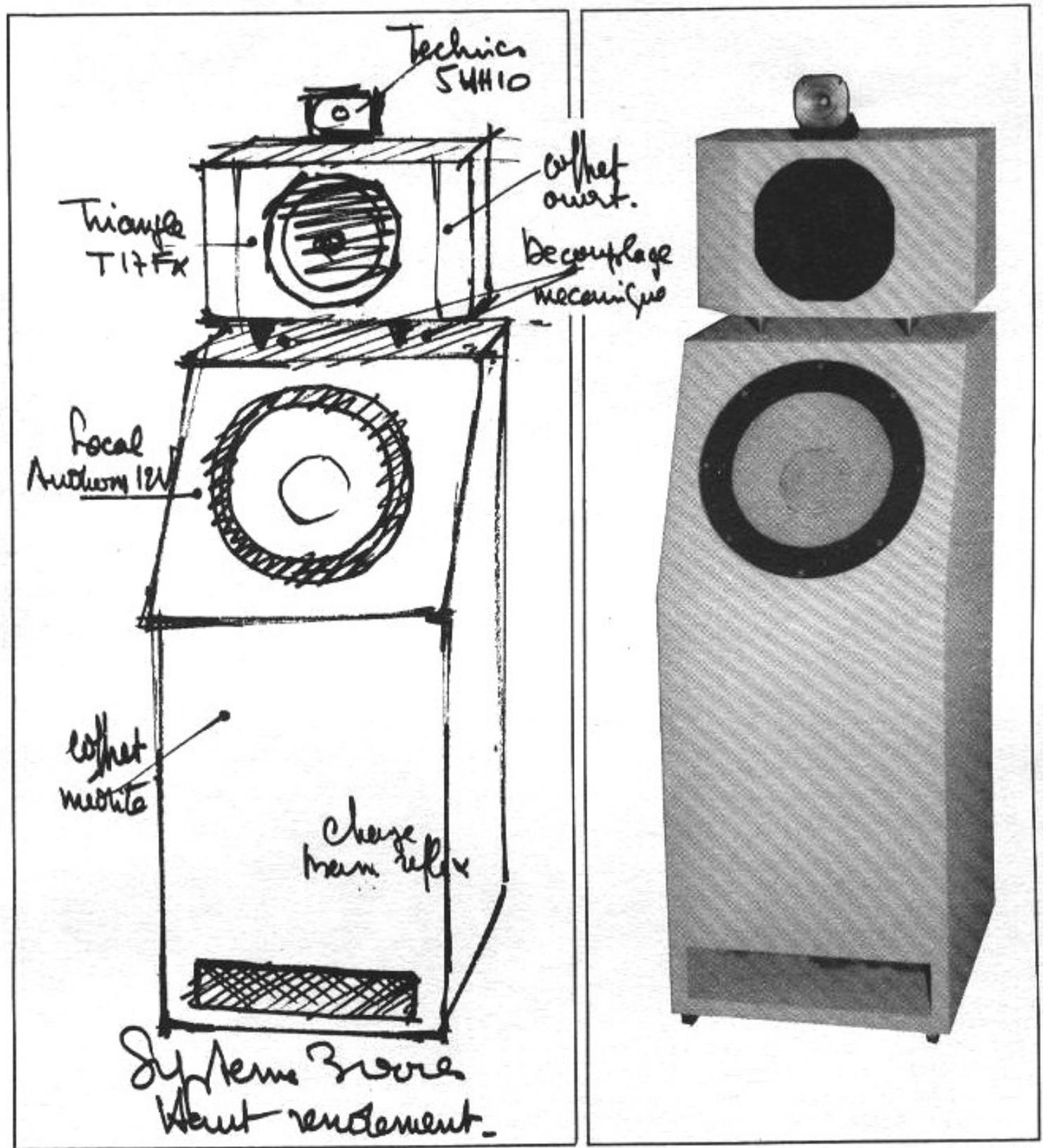
Nos recherches se sont tout naturellement tournées vers un 30 cm ayant une fréquence de résonance suffisamment basse avec un Q_{TS} laissant augurer une charge de l'ordre de 100 l, cela avec un rendement d'environ 95 dB/1 W/1 m.

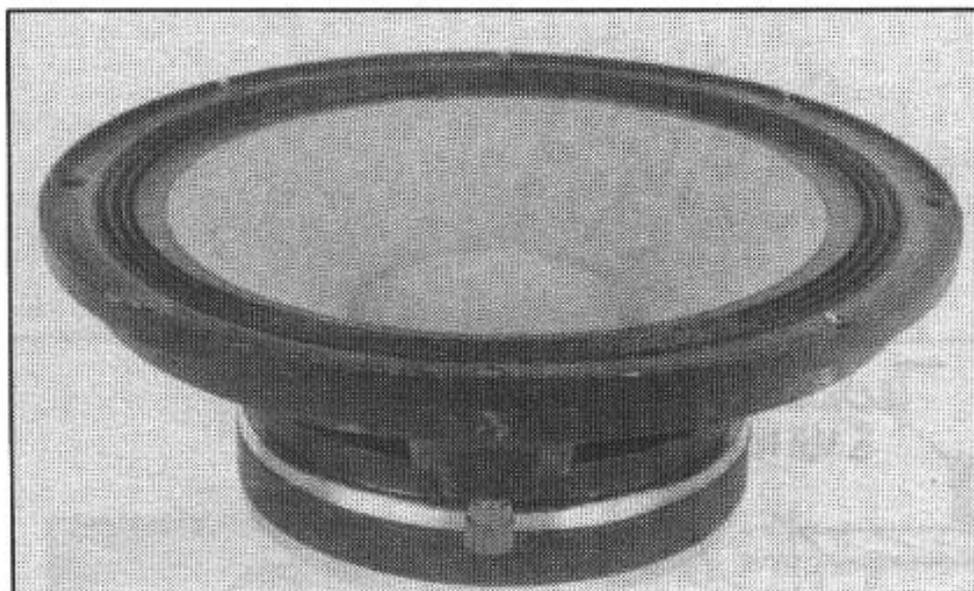
Force est de constater que l'éventail de choix sur la base de ces critères reste très restreint. Nous avons retenu l'Audiom 12 V de Focal, il satisfait à nos critères et sa membrane papier à suspension petits plis dans la lignée des légendaires Altec 416 et 414 nous inspirait pleinement

confiance.

Pour le médium, les possibilités étaient plus nombreuses. Il existe désormais de nombreux médiums à haut rendement d'excellente facture chez la plupart des fabricants français. Toutefois, fort de l'expérience, nous nous sommes tournés vers une membrane papier. Cela pour une raison d'homogénéité de technologie. Nous touchons là déjà au domaine subjectif. En effet, très rares sont les mariages réussis avec des matériaux de membrane différents pour les registres grave et médium, un

4elle.





L'Audiom 12 V.

peu à l'image de l'association de technologies de transducteurs différentes telles électrostatique et électrodynamique. Certes, les nouvelles méthodologies de mesure en régime impulsif apportent des éléments de réponse, pourtant elles n'expliquent pas encore complètement l'appréciation subjective.

Pour notre part, les membranes papier, même si elles peuvent sembler rétrogrades à l'ère des matériaux composites, restent une solution qui, au plan qualitatif est loin d'être dépassée, tant s'en faut. N'est-il pas surprenant que les ingénieurs de Sony, lors du développement de l'exceptionnel casque MDR-R10 aient pris comme base de départ la membrane papier, en termes de naturel de restitution, pour la réalisation de leur membrane issue des biotechnologies.

Le tout nouveau T17 FX de Triangle, équipé du nouveau saladier Greenwich, de par son rendement, l'étendue de sa bande passante et son excellente réponse transitoire, constitue un choix de prédilection. Nous l'avons retenu, car il s'agit d'un haut-parleur large bande plus que d'un médium, dans l'optique d'un filtrage de la bande médium à 6 dB/octave et cela sur un registre le plus étendu possi-

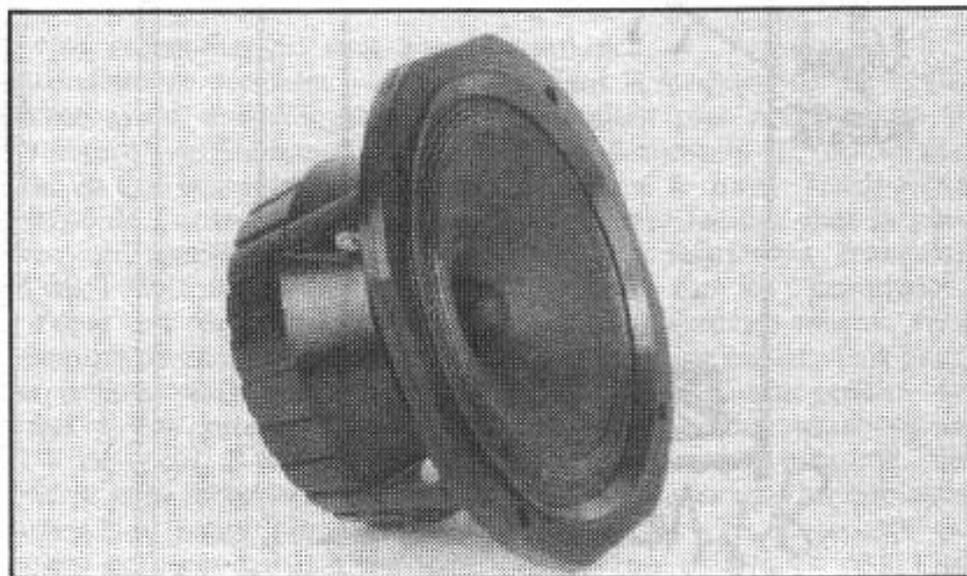
ble afin de présenter une restitution très expressive et très définie associée à une image très précise et très stable. Quant au tweeter, nous ne nous sommes pas vraiment posé la question. Le Technics 5HH10 à chambre de compression se marie à merveille à des médiums de concept large bande à haut rendement, à condition toutefois de le couper suffisamment haut en fréquence, ce qu'autorise d'ailleurs parfaitement son rendement relativement élevé. Il est à noter à ce sujet que beaucoup de tweeters à chambre de compression de haute qualité, JBL, Fostex...

s'associent mal à un médium à cône pour une raison bien simple, une différence de niveau d'énergie. Ces derniers ne peuvent vraiment se coupler qu'à des médiums à chambre de compression.

La voie grave

L'Audiom 12 V avec une ferrite de 184 mm et son saladier moulé est une très belle pièce. La bobine, de diamètre 77 mm, comporte 77 spires en cuivre bobinées sur chant en une seule couche sur un support kapton de 64 μ m. Sa hauteur est de 6,8 mm. La hauteur de l'entrefer est de 8,5 mm. Son poids total est de 7,5 kg. Il est décompressé sur l'arrière. C'est un magnifique haut-parleur dont le coût, de l'ordre de 2 000 F, le met hors de portée de la grande majorité des réalisations en produits finis... Nous touchons là l'un des privilèges du kit : utiliser des transducteurs de très haut niveau, cela pour un budget comparable à celui d'une bonne enceinte acoustique du marché.

La membrane papier du 12 V est traitée par un dépôt de microbilles de verre lui conférant ainsi une excellente rigidité sans la pénaliser par une masse très élevée. Celle de l'équipage mobile



Le Triangle T17FX.

Paramètre	Valeur	Unité
F _s	22,7	Hz
V _{as}	0,3672	m ³
Q _{ts}	0,212	
Q _{es}	0,22	
Q _{ms}	5,98	
R _{cc}	6,2	Ω
D	0,26	m
S _d	0,0531	m ²
C _{as}	2,614E-06	m ⁵ /N
M _{as}	18,8	kg/m ⁴
R _{as}	448,44	Ω.ac
C _{ms}	0,0009275	m/N
M _{ms}	0,053	kg
R _{ms}	1,26	kg/s
C _{es}	248,79	μF
L _{es}	197,59	mH
R _{es}	168,53	Ω
Bl	14,6	N/A
r	275,39	ms ⁻² A ⁻¹
N	1,88	%
N ₀	94,75	dB/1 W/ 1 m

Tableau 1 : Paramètres de l'Audiom 12 V.

du 12 V est de 53 g. Les excellentes propriétés de ce traitement, observées sur d'autres modèles de la gamme Focal, nous ont fait préférer cette version à la version standard. Les problèmes de fractionnement de membrane de boomer à membrane papier, qui autorise une fréquence de coupure relativement haute, ont toujours été critiques à traiter dans la bande bas-médium. Nous souhaitons par ailleurs avoir recours à un filtrage simple et cela n'a fait que conforter ce choix. Le traitement par micro-billes alourdit la membrane de 9 g seulement et son incidence est manifeste à partir de 250 Hz en lissant la réponse.

Calcul de la charge

Les paramètres de 12 V données dans le tableau correspondent aux valeurs constructeur. Nous avons, sur l'un de nos exemplaires, fait un relevé des caractéristiques. Les résultats obtenus sont extrêmement proches, à savoir une fréquence de résonance F_s de 22,84 Hz, un Q_{MS} de 5,327, un Q_{ES} de 0,204 et un Q_{TS} de 0,197. Cette très faible dispersion est significative d'un suivi de fabrication parfaitement maîtrisé. Pour notre étude, nous

nous en sommes tenu aux paramètres constructeur qui, eux, découlent de valeurs statistiques sur un échantillonnage de haut-parleurs.

Le calcul d'une charge bass-reflex est désormais classique.

Sachant que nous optons pour un système passif avec filtrage aux alentours de 500 Hz, il faut prévoir une résistance série pour une self de bonne facture et les connexions :

$$R_S \approx 0,8 \Omega.$$

L'incidence de cette résistance série sur les paramètres est la suivante :

$$Q'_{ES} = \frac{R_{CC} + R_S}{R_S} \cdot Q_{ES}$$

$$= \frac{6,2 + 0,8}{6,2} \cdot 0,22 = 0,248$$

$$Q'_{TS} = \frac{Q'_{ES} \times Q_{MS}}{Q'_{ES} + Q_{MS}}$$

$$= \frac{0,248 \times 5,98}{0,248 + 5,98} = 0,238$$

Le volume V_B de l'enceinte s'obtient par :

$$V_B = n V_{AS} Q'_{TS}^2$$

En choisissant un alignement optimal de 5,7 :

$$V_B = 5,7 \times 0,3672 \times (0,238)^2$$

$$= 118,56 \text{ l.}$$

La fréquence de résonance de l'enceinte F_B doit satisfaire la relation :

$$F_B = \frac{0,39 F_S}{Q'_{TS}} = 37,20 \text{ Hz.}$$

et la fréquence de coupure à -3 dB de l'enceinte ainsi déterminée sera :

$$F_{-3} = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{F_S}{Q'_{TS}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{5,7}} \frac{22,7}{0,238} \approx 40 \text{ Hz}$$

Quant à la détermination de l'évent, nous avons :

$$F_B = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{S_V}{V_B \cdot L_V}}$$

avec C : célérité du son dans l'air ; S_V : surface de l'évent ;

L_V : longueur de l'évent incluant la correction d'extrémité L''_V, la longueur réelle de l'évent étant :

$$L'_V = L_V - L''_V.$$

Pour notre projet, nous nous sommes orientés vers une forme colonne. Compte tenu du diamètre du haut-parleur, nous avons retenu une largeur interne de 350 mm. Pour des raisons de simplicité de fabrication, nous avons choisi un évent rectangulaire positionné dans le bas de l'enceinte, cela afin de bénéficier de l'effet de sol pour renforcer la réponse dans l'extrême-grave par couplage au local. La hauteur a été fixée à 80 mm. Ainsi :

$$S_V = 350 \times 80 = 280 \text{ cm}^2$$

et satisfait à la règle :

$$\frac{S_d}{2} < S_V < S_d$$

Nous sommes en possession de tous les éléments pour déterminer la longueur de l'évent :

$$L_V = \left(\frac{C}{2\pi F_B} \right)^2 \frac{S_V}{V_B}$$

$$L_V = \left(\frac{344}{6,28 \times 37,20} \right)^2 \frac{280 \cdot 10^{-4}}{118 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 51 \text{ cm.}$$

La correction d'extrémité, dans notre cas, est importante :

$$L''_V = 0,958 \sqrt{S_V} = 16 \text{ cm}$$

soit une longueur réelle :

$$L'_V = L_V - L''_V = 51 - 16 = 35 \text{ cm}$$

Définition de l'enceinte grave

Nous souhaitons positionner le haut-parleur de grave le plus haut possible afin de rapprocher autant que faire se peut les diverses sources émissives. Afin d'éviter les réflexions directes des parois internes à proximité immédiate, nous avons choisi un positionnement du boomer sur un pan incliné. L'expérience nous a d'ailleurs montré que ce type de positionnement procurait d'excellents résultats subjectifs. La colonne d'air à l'intérieur de l'enceinte se trouve ainsi

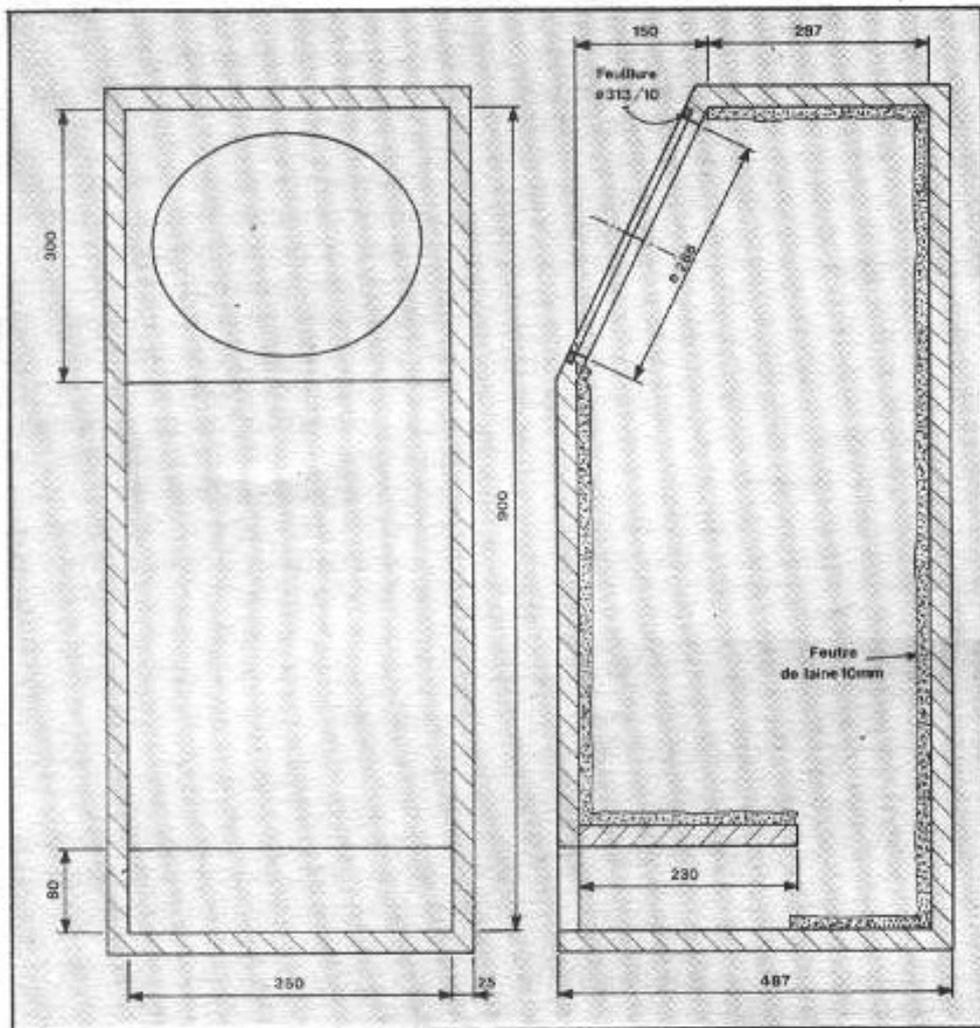


Fig. 1 : Plan de l'enceinte de grave. Le matériau utilisé est de la médite d'épaisseur 25 mm. L'amortissement interne est réalisé par du feutre de 10 mm d'épaisseur sur l'ensemble des parois.

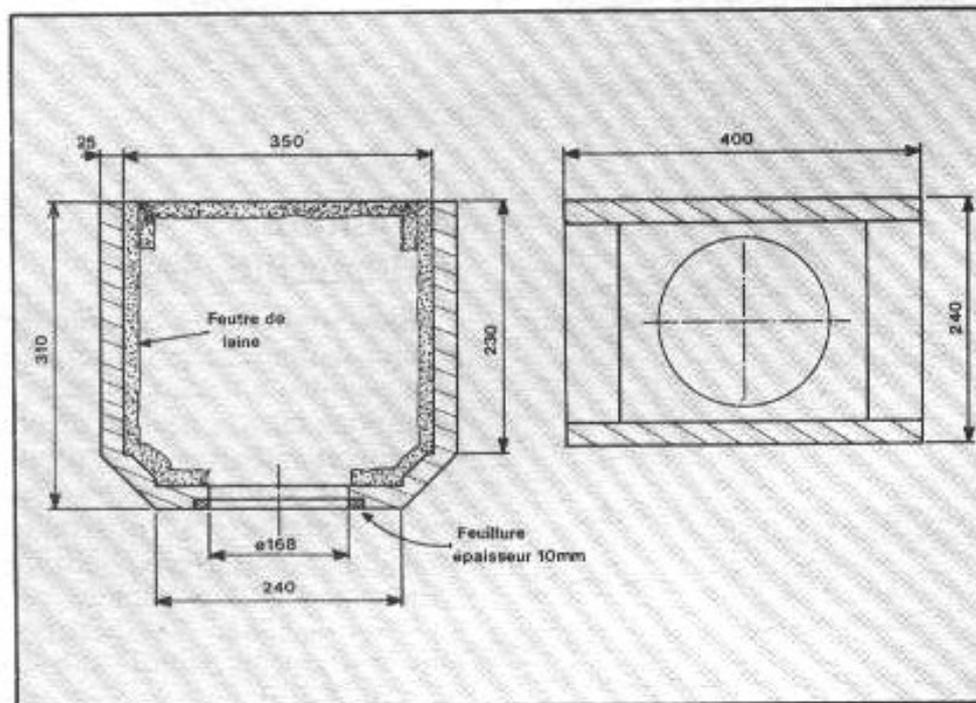


Fig. 2 : Plan du coffret médium. Il est réalisé également en médite de 25 mm. L'ensemble des parois est recouvert de feutre de 10 mm. Un rideau amortit l'onde arrière.

excitée sur un axe intermédiaire entre les axes transversal et longitudinal, assurant ainsi un écoulement à turbulences plus diffuses. Le plan de l'enceinte à laquelle nous sommes parvenus est donné à la figure 1.

Le volume interne en litres est ainsi de :

$$(9 \times 3,5 \times 4,37) - \left(\frac{1,5 \times 3 \times 3,5}{2} \right)_{\text{pan incliné}} - 2 - 9,1 = 118,68 \text{ l}$$

HP évent

Une remarque s'impose quant à l'évent. Le calcul nous a donné une longueur effective de 35 cm dans notre cas, compte tenu de son positionnement, il convient de tenir compte du trajet moyen de l'onde sonore à la gorge de l'évent, ainsi :

$$23 + 2,5 + \left(\frac{43,7 - 25}{2} \right) = 34,85 \approx 35 \text{ cm.}$$

L'amortissement interne du caisson est assuré par du feutre de laine de 1 mm d'épaisseur, solution onéreuse, certes, en regard de la laine de verre, mais beaucoup plus neutre.

Le coffret de médium

Compte tenu de la fréquence de coupure que l'on souhaitait établir aux environs de 500 Hz, il était parfaitement envisageable de charger le médium par un caisson ouvert sur l'arrière, sans craindre de court-circuit acoustique limitant la réponse dans le bas de sa bande passante. La coupure d'un coffret de $P = 30$ cm de profondeur se situe aux environs de $\frac{C}{4P} \approx 287$ Hz. Qui plus est, cette coupure acoustique atténuée naturellement la réponse du médium dans le grave, ce qui offre l'avantage, dans le cas d'un filtrage du médium à 6 dB/octave, de limiter les excursions du haut-parleur et donc ses non-linéarités.

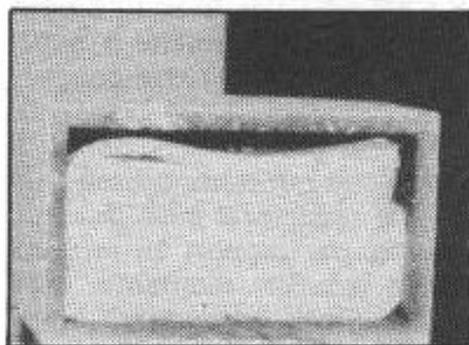


Fig. 3 : Vue de l'amortissement arrière du coffret médium. Il est constitué d'un rideau de feutre de 10 mm. Un cache en tissu viendra parfaire la finition.

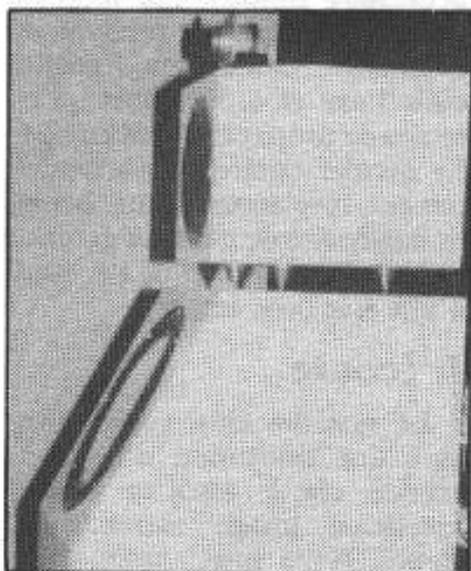


Fig. 4 : Positionnement des trois voies. Le coffret médium est aligné sur l'arête supérieure du caisson grave. Le tweeter est positionné sur un petit support en bois.

La figure 2 indique les dimensions du coffret de médium.

L'intérieur du coffret est recouvert de feutre et un rideau de 10 mm amortit l'émission arrière (fig. 3). Il est d'ailleurs très aisé de jouer sur cet amortissement pour « régler » l'image en fonction des caractéristiques acoustiques du mur arrière. Le coffret médium est découplé mécaniquement par trois pointes du caisson grave. La face avant du médium est alignée sur le haut du pan incliné de l'enceinte grave (fig. 4).

Le tweeter ne requiert aucun bafflage et peut se positionner soit sur le dessus du coffret médium (décalé de 2 cm sur l'arrière), soit latéralement sur le

caisson grave (dans l'espace dégagé par le pan coupé du coffret médium), cela sur les côtés externes (à gauche sur l'enceinte gauche et à droite sur l'enceinte droite). Le choix sera déterminé en fonction de la position d'écoute en hauteur et en distance.

Le filtrage

Selon nos habitudes, le filtrage est d'une extrême simplicité (fig. 5) :

- 12 dB/octave en coupe-haut sur le grave (3,3 mH/0,7 Ω - 32 μ F) ;

- 6 dB en coupe-bas et coupe-haut sur le médium (24 μ F et 0,25 mH) avec un réseau atténuateur 2 Ω /33 Ω . Une couronne de feutrine de largeur 1 cm placée sur le pourtour de l'ogive vient apporter par filtrage acoustique un complément au filtrage électrique pour parfaire le raccord avec le tweeter ;

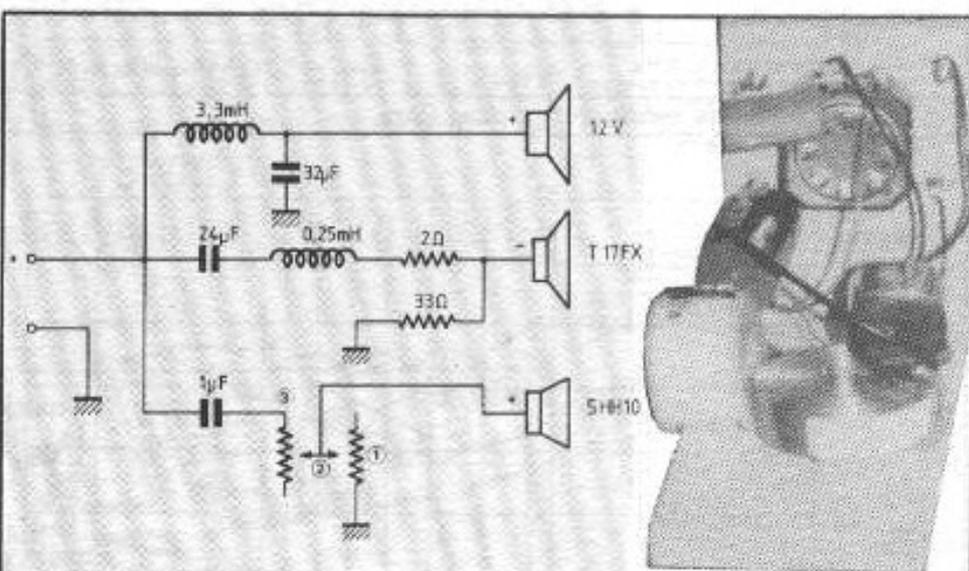


Fig. 5 : Schéma du filtre. Le médium est coupé à 6 dB/octave ainsi que le tweeter. Vue du filtre expérimental.

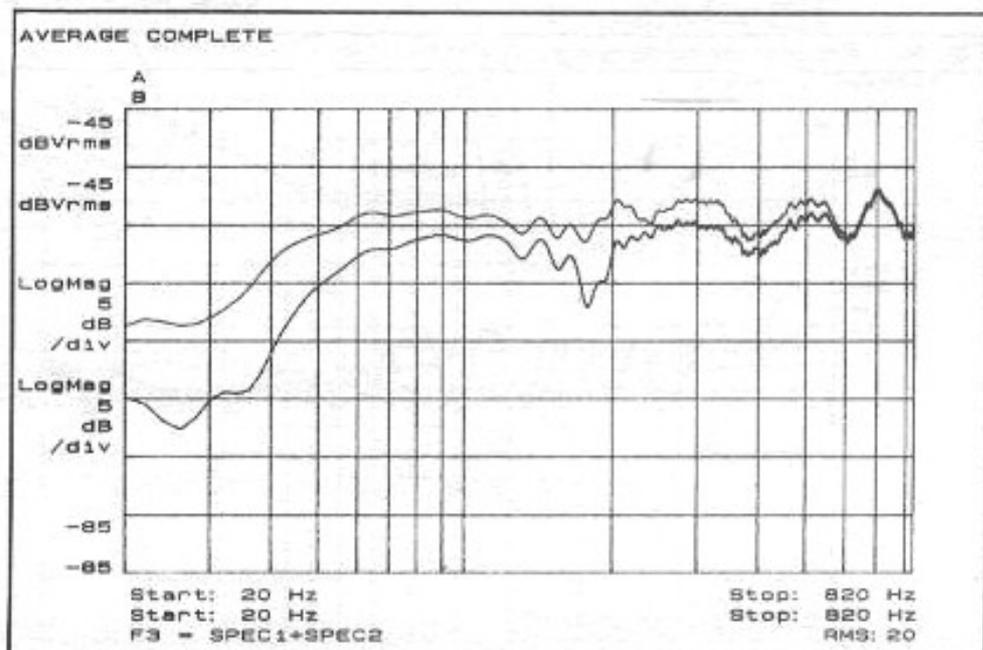


Fig. 6A : Réponse de la voie grave. Courbe du bas : HP seul ; en haut : HP+évent. Les résultats du calcul sont corrélés par la mesure ; la fréquence de coupure à -3 dB se situe à 40 Hz.

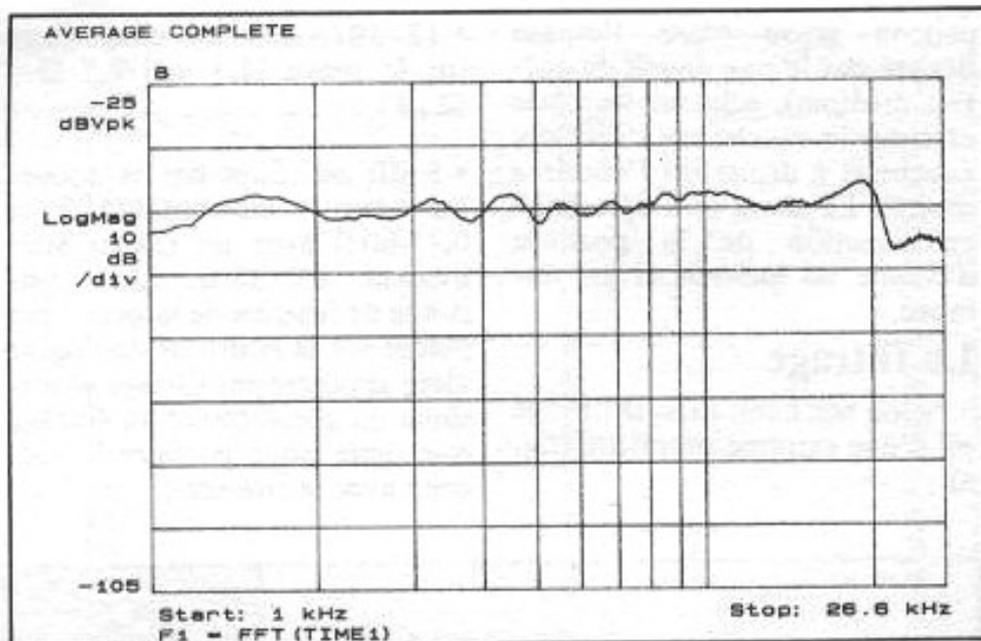


Fig. 6B : Réponse du médium-aigu dans l'axe.

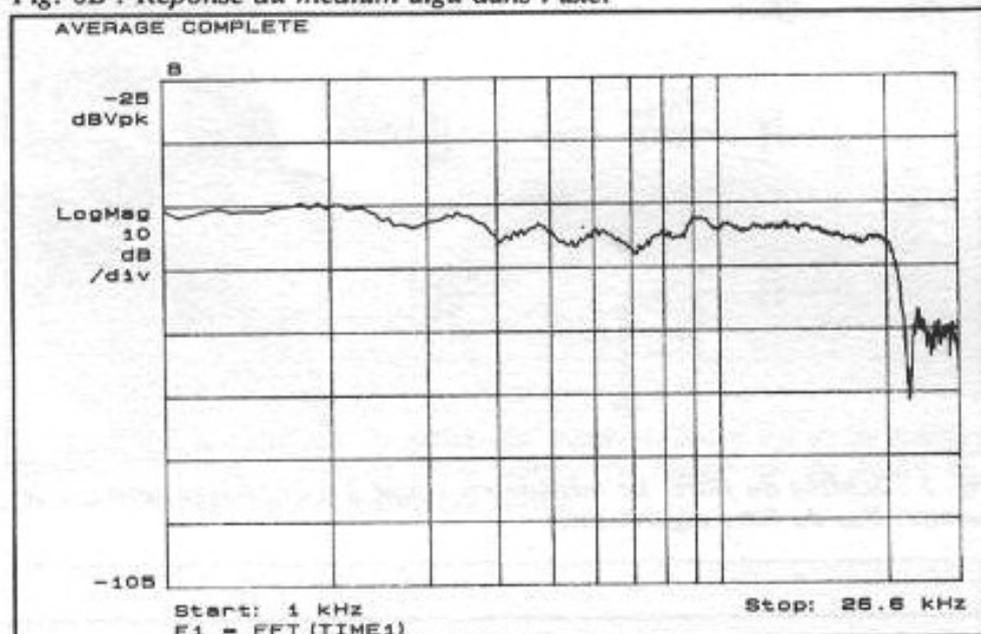


Fig. 6C : Réponse du médium-aigu à 30°.

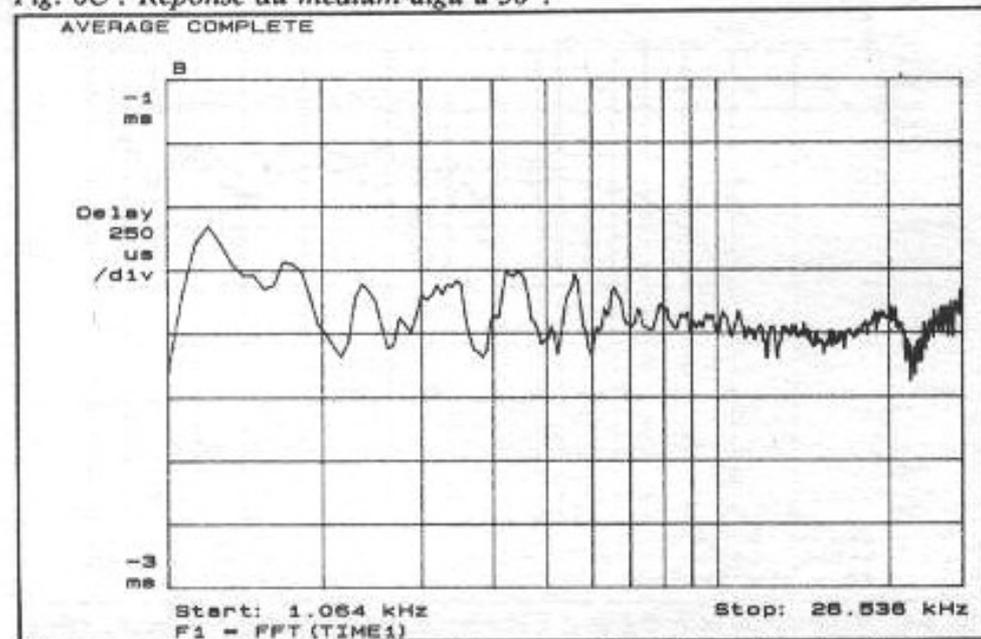


Fig. 6D : Temps de propagation de groupe du médium-aigu, le résultat est excellent, il tient dans moins de 0,4 ms entre 1 kHz et 26 kHz.

• 6 dB sur l'aigu avec 1 μ F associé à un potentiomètre à impédance constante. Cette coupure correspondant à 20 kHz sous 8 Ω peut paraître très élevée. Il est à noter que nous utilisons à la fois le rendement plus élevé du tweeter par rapport au médium et la courbe montante qu'il offre. Ainsi, on parvient à une excellente linéarisation tout en conservant l'avantage du haut rendement ainsi qu'une excellente réponse impulsionnelle. Tout cela avec un filtrage on ne peut plus simple. Les mesures données en figure 6 révèlent les excellents résultats en linéarité dans l'axe et à 30° ainsi qu'en temps de propagation de groupe. Le dernier critère est particulièrement révélateur d'une bonne homogénéité de phase et garantit l'obtention, au plan de l'écoute, d'une très belle image.

L'écoute

Le système ainsi réalisé procure une restitution d'une très grande clarté associée à une excellente image extrêmement stable. A ce sujet, nous avons préféré, dans nos conditions d'écoute, le positionnement latéral des tweeters, la spatialisation étant meilleure ainsi que l'homogénéité d'ensemble. Nous avons d'ailleurs noté que, suivant la position retenue pour les tweeters, il convenait de réajuster le niveau de ces derniers par l'intermédiaire des potentiomètres à impédance constante.

Le registre grave, parfaitement tenu, restitue avec beaucoup de liberté les attaques les plus vives. Le médium, très raffiné, est à la fois précis et très doux sans jamais « projeter ». L'aigu est très beau et « file » bien, son association avec le médium est des plus homogène. Le rendement très élevé de cette réalisation autorise l'emploi d'électroniques de très haute qualité de petite puissance. L'association avec le 300 B est superbe.

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

12

MARQUES D'ELECTRONIQUES A TUBES

P

*our la troisième fois voici
un panorama pratiquement complet
des amplificateurs à tubes de toutes nationalités.*

*Parallèlement à ce panorama
se tiendra le deuxième salon
Permanence du Tube Expo 89
les 16, 17 et 18 septembre,
patronné par votre revue.*

*Nous remercions la SPAT
(organisatrice des Journées de la Haute-Fidélité)
de bien avoir voulu prendre notre relais
pour l'organisation de ce salon,
ainsi que tous les exposants.*

*Nous vous y attendons nombreux.
Savez-vous qu'actuellement
le nombre de fabricants d'électroniques à tubes,
mais aussi le nombre de modèles
sont plus importants qu'ils ne l'étaient
à la grande époque de cette technologie.*

*Ainsi, en 1988, il y avait 48 marques
pour 112 modèles utilisant le tube
contre 40 marques pour 86 modèles en 1963
recensés sur le marché américain*.*

** Enquête effectuée par A.R. Balaton aux Etats-Unis
sur la base des récapitulatifs annuels
parus dans la revue Audio Magazine.*

AUDIO INNOVATIONS

Actuellement distribuée par la société Preface Logic Audio,
la marque anglaise AUDIO INNOVATIONS propose des électroniques à tubes sortant des sentiers battus,
avec des montages en pure classe A autour de tubes triodes à chauffage direct,
ceci afin d'obtenir une musicalité sans compromis.

Peter Qvortrup, créateur de la firme AUDIO INNOVATIONS, s'est installé en Angleterre en 1984.

Ancien revendeur de produits haut de gamme à Copenhague,
il restait constamment insatisfait,

considérant que les appareils qu'il aurait réellement désiré vendre n'existaient pas.

L'idée de départ : fabriquer des amplificateurs à tubes de haute qualité musicale.

Le pari a été largement tenu avec des unités telles que : les First Audio (triode 6B4G)
ou le remarquable intégré SE 500.

Sur cet ampli-préampli, les étages phono utilisent des doubles triodes avec filaments
alimentés en continu dans une configuration à deux étages dépourvus de contre-réaction.

La correction de gravure RIAA s'insère entre eux de manière totalement passive
grâce à un réseau résistif-capacitif.

Les étages de puissance sont composés d'un circuit amplificateur de tension (ECC 82)
relié au déphaseur de type paraphase modifié,

avec doubles triodes ECC 82 couplées aux grilles des tubes EL 34.

La qualité musicale de ces amplis à tubes a été saluée par la presse spécialisée du monde entier.

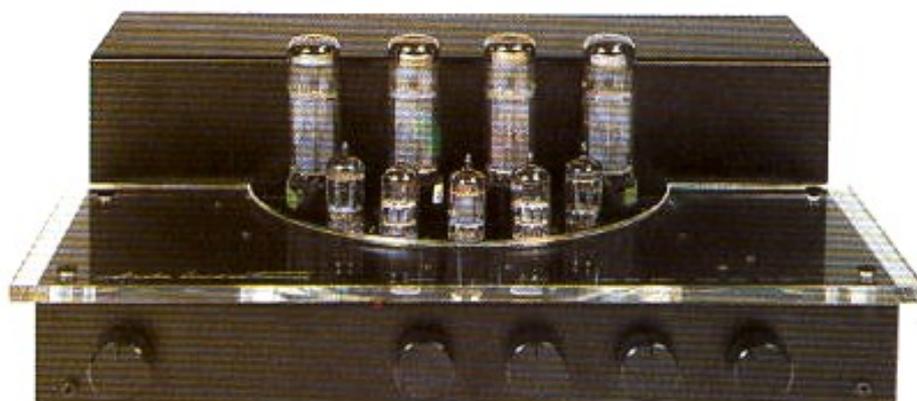
Principales références :

Intégrés

- SE 500 : tubes (4× (EL 34) 1× (PCC 88) 4× (ECC 83)). Puissance : 2×20 W. Distorsion par harmoniques : 0,15 %. Sensibilité : entrée phono MM 3,6 mV. Rapport signal/bruit : 76 dB. Prix : 12 800 F.
- SE 400 : mêmes spécifications que pour le SE 500, sauf puissance moindre : 2×12 W, circuit classe A, pentode EL 34 sans contre-réaction. Prix : 8 800 F.

Préamplificateur

- SE 1000 : entrée phono, correction RIAA. Sensibilité : 5 mV. Rapport signal/bruit : 86 dB.



AMPLI-PREAMPLI INTEGRE A TUBES SE 500



Amplificateurs travaillant en pure classe A

- The First Audio Amplifier stéréo. Puissance : 2×7,5 W. Tube de sortie 6B4G.
- SE 1000 : bloc mono, 50 W classe A.

Preface Logic Audio : 24, rue Boussingault 75013 Paris
Tél. : (1) 43.94.13.22

AUDIO RESEARCH

Audio Research, dès le début des années 70, réalisa des électroniques à tubes sans compromis qui firent instantanément la différence à l'écoute avec les amplificateurs à transistors de l'époque.

Depuis, Audio Research n'a cessé de s'affirmer comme le chef de file incontesté de l'amplification musicale à tubes au plus haut niveau pour devenir la référence mondiale en la matière.

Les schémas, extrêmement sophistiqués, de ses amplificateurs ne sont pas étrangers aux superbes performances auditives.

Les alimentations, très complexes, avec régulations, les circuits de puissance travaillant avec des tensions élevées, déphaseur à source croisée, composants actifs et passifs spécifiques, concourent à un très haut pouvoir de définition et une haute-fidélité sans compromis.

Sur ses plus récents modèles, Audio Research s'est tourné vers les montages hybrides en prenant le meilleur des deux techniques transistors et tubes.

Le préampli SP 15 apporte la preuve du bien-fondé de ce type de montage et les Classic 30 et Classic 60 se situent au sommet en matière de musicalité.

Le dernier-né des préamplis, le SP 14, reprend aussi ce type de montage, avec alimentations à régulateur à transistors, circuits audio à base de FET et de 2 tubes (2x(6DJ 8/ECC 88) pour obtenir le gain nécessaire

(entrée phono universelle MM/MC) avec un minimum de bruit de fond.

Encore des réalisations exceptionnelles qui placent très haut la barre de la perfection absolue.

Principales références :

Préamplificateurs

- SP 9 : hybrides tubes-transistors (2x(6DJ 8/ECC 88)). Entrées phono universelle (MM/MC, gain : 44 et 66 dB). **Prix : 21 000 F.**
- SP 14 : hybrides tubes-transistors (2x(6DJ 8/ECC 88)). Entrées phono universelles (MM/MC, gain 46 et 66 dB). **Prix : 37 500 F.**
- SP 15 : hybrides tubes-transistors (3x(6DJ 8/ECC 88)). Alimentation indépendante. Entrées phono universelles MM/MC gain maxi 75 dB. **Prix : 73 920 F.**



AMPLIFICATEUR CLASSIC 60



PREAMPLIFICATEUR SP 14

Amplificateurs

- Classic 30 : tubes-transistors (4x(6550) 2x(6FQ7/6CG7)). **Puissance : 2x32 W. Prix : 29 500 F.**
- Classic 60 : hybrides tubes-transistors (8x(6550) 4x(6FQ7/6CG7)). **Puissance : 2x62 W. Prix : 41 000 F.**
- Classic 150 : tubes (8x(6550)). **Puissance : 1x150 W. Prix : 61 730 F.**
- M 300 MK II : tubes (16x(6550)). **Puissance : 1x300 W. Prix : 67 876 F.**
- D 125 : tubes (8x(6550)). **Puissance : 2x110 W. Prix : 54 960 F.**
- EC 21 : filtre électronique. **Prix : 12 300 F.**



Europe Audio Diffusion : 16, quai Aspirant Herber
34200 Sète - Tél. 67.74.70.23.

BEARD

L'objectif premier de M. Bill Beard est d'obtenir les meilleurs résultats sur le plan de la musicalité à partir d'électroniques à tubes sans pour autant recourir à des solutions complexes : circuits trop sophistiqués ou nécessitant de fréquents réglages pour l'obtention des performances subjectives optimums.

Pour cela, ce constructeur anglais fait preuve de beaucoup d'ingéniosité dans la réalisation de ses préamplificateurs et amplificateurs à tubes.

Il suffit de se référer au préampli CA 506

qui ne comporte pas moins de trois alimentations régulées, charge active à transistors pour chaque tube,

étages lignes montés en cathode follower et réglage de volume pouvant agir de manière active ou passive.

On retrouve notamment nombre de ses caractéristiques sur le préampli CA 35

qui bénéficie pour l'étage phono MC de petits transformateurs adaptateurs totalement blindés.

Quelle que soit leur puissance, les unités d'amplification BEARD reprennent toutes le principe du fonctionnement en pure classe A avec polarisation automatique

ou le montage ultra-linéaire qui, selon la puissance désirée,

met en œuvre un triple ou sextuple push-pull de tubes

EL 84 (P 35 et M 70) ou KT 88 pour le modèle P 1000.

Principales références :

Préamplis

• **CA 506** : entrées phono : sensibilité (haut gain) MC : 0,1 mV/MM : 0,4 mV (gain bas) MC : 0,2 mV / MM : 0,8 mV. **Rapport signal/bruit** : phono MM/MC : 70 dB ligne : 85 dB. **Niveau de sortie maxi** : 80 V/100 k Ω . **Prix** : 23 990 F.

• **CA 35 Bambino** : entrées phono. **Sensibilité** : MC : 0,15 mV MM : 1,2 mV. **Rapport signal/bruit** : phono MM/MC : 72 dB, ligne : 78 dB. **Niveau de sortie maxi** : 45 V/100 k Ω . **Prix** : 11 990 F.



AMPLI MONO M 70 MKII

PREAMPLIFICATEUR CA 35

Amplificateurs

• **P 35 « Baby Beard »**. **Puissance** : 2x35 W, tubes (2x(ECC 81) 12x(EL 84)). **Bande passante** : 5 Hz à 50 kHz +0 dB -1 dB. **Rapport signal/bruit** : 90 dB. **Sensibilité d'entrée** : 775 mV/680 k Ω . **Poids** : 21 kg. **Prix** : 16 990 F.

• **M 70 MKII** : bloc mono : 70 W. Tubes (2x(ECC 81) 12x(EL 84)). **Bande passante** : 5 Hz à 50 kHz +0 dB -1 dB. **Rapport signal/bruit** : 90 dB. **Sensibilité d'entrée** : 775 mV/680 Ω . **Poids** : 21 kg. **Prix, la paire** : 37 100 F.

BEARD

J.L.B. Monitor Systems : 20, avenue du 11 Novembre, BP 39 76440
Forges-les-Eaux - Tél. 35.90.54.79

CARVER

L'amplification de puissance ultime, qui n'en pas rêvé ?

*Mr. Bob Carver a matérialisé ce rêve en réalisant le Silver Seven,
sans souci économique avec un seul et unique objectif :*

*la plus grande musicalité possible, sans limitation de puissance et sur n'importe quel type de charge
(haut-parleur électrodynamique à bas rendement, électrostatique ou isodynamique).*

*Pour ce faire, le Silver Seven se présente sous la forme d'unités monophoniques comprenant chacune :
un châssis alimentation avec un énorme transformateur à quatre enroulements secondaires
pour les circuits de haute tension,*

*de polarisation grille et de chauffage filament,
et un châssis amplification avec sextuple push-pull de 14 tubes 6550A
pour une dissipation anodique maximale de 560 W et deux socles en granit,
suspendus pour éviter tout effet microphonique.*

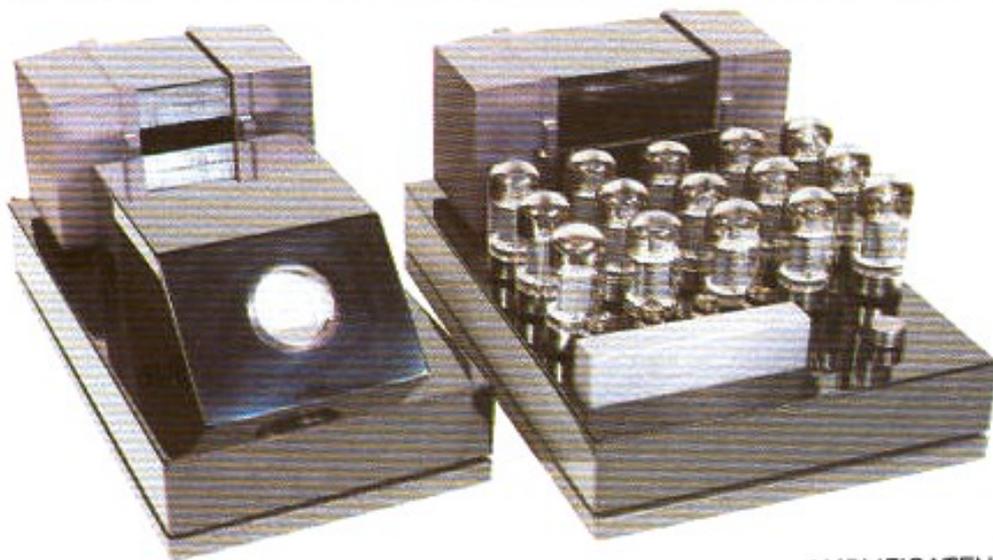
*Le mode de fonctionnement est en tétrode avec régulation des grilles écran.
Le gigantesque transformateur de sortie à large bande est équipé de tôles au silicium
à grains orientés à haute perméabilité magnétique,
pour pouvoir supporter une puissance supérieure 500 W, les enroulements secondaires
à prises 1, 4, 8 ohms sont réalisés en argent pur,*

*afin de réduire la résistance en courant continu et les pertes d'insertion.
Les composants sont d'une qualité exceptionnelle pour aller dans le sens de la perfection absolue
en l'état actuel des techniques de transcription sonore.*

Principales références :

Amplificateurs

• **Silver Seven** : Puissance : 450 W, ampli mono à tubes (14 × (6550) 3 × (12BH7) et 1 × (BY7A). Prix indicatif : 198 000 F les deux blocs monos.



AMPLIFICATEUR SILVER SEVEN



Cineco : 72, avenue des Champs-Élysées 75008 Paris
Tél. : 43.59.61.59.

CONRAD-JOHNSON

Points de référence mondiale incontestés, les électroniques Conrad-Johnson, depuis 10 ans, sont citées pour leur écoute hautement musicale, grâce à une superbe transcription des timbres les plus complexes, liée à une capacité dynamique extraordinaire.

Les schémas ne sont pas très sophistiqués, avec seulement quelques étages actifs pour obtenir le gain nécessaire.

Les étages de puissance travaillent suivant le principe ultra-linéaire pour obtenir une puissance élevée tout en réduisant l'impédance de source.

Parmi les nouveautés, citons le préampli PV-10 proposé à 13 500 F avec un gain très élevé sur l'étage phono, 48,5 dB

et le remarquable amplificateur Evolution 25 fonctionnant en triode avec des capacités exclusivement polypropylènes et polystyrène y compris pour le filtrage de l'alimentation.

La transparence sonore de cet amplificateur n'a d'égal que sa subtilité dans la transcription des harmoniques supérieures.

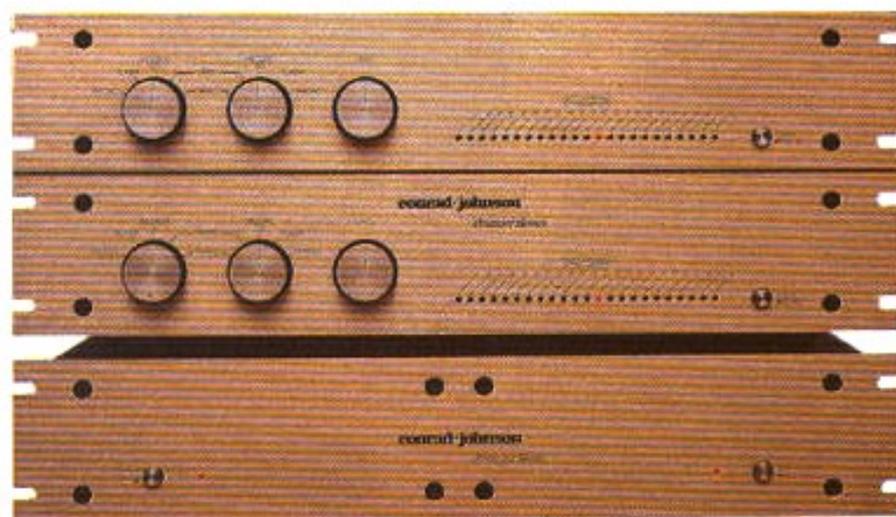
Principales références :

Préamplificateurs

- **PV 4** : tubes (2x(12AX7) 2x(5751) 2x(5965)), gain 47 dB. **Prix** : 23 000 F.
- **PV 9** : tubes (2x(12AX7) 3x(5751) 2x(5965)), gain 47 dB. **Prix** : 40 000 F.
- **PV 10** : tubes (2x(12AX7) 2x(12AJ7) 1x(5751)), gain 48,5 dB. **Prix** : 13 500 F.
- **Premier Seven** : construction double mono plus alimentation. Tubes, 12 simples triodes, gain 40 dB. **Prix** : 109 000 F.

Amplificateurs

- **MV 50** : puissance : 2x45 W. Tubes (4x(EL 34) 2x(5751) 2x(6FQ7)). **Prix** : 23 000 F.
- **MV 100** : puissance : 2x90 W. Tubes (8x(EL 34) 2x(5751) 2x(6FQ7)). **Prix** : 40 000 F.
- **Premier One B** : puissance : 2x150 W. Tubes (12x(EL 34) 2x(5751) 4x(6FQ7)). **Prix** : 79 000 F.
- **Premier Five** : 1x200 W (8x(EL 34) 2x(5751) 2x(6FQ7)). **Prix** : 103 000 F la paire.
- **Evolution 25** : 2x25 W (montage triode) 4x(EL 34) 2x(5751) et 2x(6FQ7). **Prix** : 25 000 F.



PREAMPLIFICATEUR PREMIER SEVEN



Conrad-Johnson France : 35, Square des Marronniers
78870 Bailly - Tél. : (1) 34.62.56.94.

GUISTON

L'amplificateur français GUISTON A 10 possède de nombreuses particularités qui en font une électronique quasiment unique sur le marché mondial.

Présentés sous la forme d'unités de puissance mono,

ces amplificateurs utilisent le principe de l'étage de sortie O.T.L. (Output Transformer Less) évitant, comme l'indique la terminologie anglo-saxonne, l'usage du traditionnel transformateur de sortie. On profite ainsi des nombreux avantages du tube sans subir pour autant une limitation en bande passante, celle-ci atteignant sur le Guiston, les 200 kHz pour 10 W sous 8 ohms.

Autre originalité marquante, le Guiston A 10 est actuellement le seul amplificateur commercialisé pouvant fonctionner avec ou sans contre-réaction (6 dB) avec possibilité de comparaison instantanée.

L'étage de puissance est réalisé à partir d'un push-pull parallèle de tubes EL 519 tandis que les classiques ECC 81 et 2XECC 82 sont respectivement utilisées en déphaseur d'entrée et étage driver.

L'alimentation a été particulièrement soignée

grâce à la mise en œuvre de trois transformateurs totalement indépendants.

La polarisation peut s'effectuer indifféremment selon le mode classe A ou classe AB, en fonction de la puissance et la valeur de charge qui peut varier de 4 à 52 ohms.

Un jeu complet de tubes fourni avec ces appareils laisse augurer d'une autonomie de plus de 10 ANS !

Principales références :

Amplificateurs O.T.L.

• **A 10 tube** : 4× (EL 519) 1× (ECC 81) 2× (ECC 82). **Puissance** : de 18 à 120 W selon classe de fonctionnement et charge. **Distorsion par harmoniques** : 0,4 %. **Rapport signal/bruit** : 93 dB. **Temps de montée** : 1 μ s à 10 kHz. **Sensibilité** : 0,5 V. **Bande passante** : ± 0 dB, 5 Hz à 200 kHz sous 8 Ω . **Prix** : 79 800 F la paire.



Ampli O.T.L. Guiston A10



JADIS

Le constructeur français JADIS peut être considéré comme l'un des porte-drapeaux les plus représentatifs des réalisations françaises de prestige.

Distribuées dans le monde entier, ces électroniques, réalisées dans la région de Carcassonne, sont élaborées avec une volonté évidente d'absence de tout compromis comme en témoignent les moyens employés : transformateurs surdimensionnés bobinés et imprégnés à la main dans les unités de production JADIS, composants spécialement triés, appairage parfait des tubes, sans parler du niveau de finition hors pair des superbes châssis chromés.

Nouveauté 1989 : le JA 500 se présente sous la forme de puissances monophoniques dont l'alimentation, à la manière du célèbre JA 200, se situe sur un châssis totalement indépendant.

Ces véritables monstres n'utilisent pas moins de 12 tubes 6550 en sortie afin d'obtenir une puissance de plus de 450 W efficaces en pure classe A.

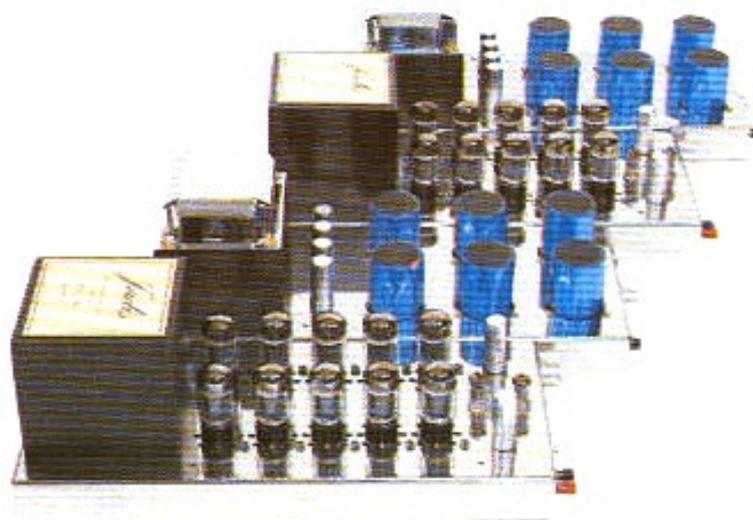
Pour le JA 500, JADIS a développé un transformateur de sortie gigantesque dont un des enroulements, très particulier, autorise la parfaite adaptation à toute enceinte représentant une charge soit très complexe, soit très basse, pouvant ainsi driver des transducteurs à ruban sans problèmes d'instabilité.

Principales références :

Amplificateurs

- **JA 200** : blocs mono, alimentation séparée. Tubes (10×(EL 34) 1×(ECC 82) 1×(ECC 81)). **Puissance** : 160 W classe A. **Sensibilité** : 1 V. **Rapport signal/bruit non pondéré** : 96 dB. **Prix** : 99 900 F la paire.
- **JA 80** : puissance 60 W. Tubes (8×(EL 34)). **Prix** : 63 900 F la paire.
- **JA 500** : mono (12×(6550) par canal. Enroulement spécial pour charge complexe et impédance basse. **Puissance** : 2×456 W en classe A enrichie. **Prix** : 149 900 F les 4 blocs.
- **JA 30** : blocs tubes (1×(ECC 83) 1×(ECC 82) 2×(KT 88)). **Puissance** : 30 W classe A. **Sensibilité** : 1 V. **Impédance** : 4 ou 8 Ω. **Poids** : 22 kg. **Prix** : 33 900 F la paire.

Préamplificateurs 5 modèles du DP 60 à 20 000 F au JP 200 à 128 000 F.



AMPLIFICATEURS JA 200



Tetra Distribution : 8, rue Defly 06300 Nice - Tél. : 93.62.20.97.

KEBSCHULL

Récemment distribuées sur le territoire français par la Société L'Atelier Esotérique Audio Visuel, les électroniques KEBSCHULL sont fabriquées en RFA à Bröbenzell près de la ville de Munich.

Cette petite société spécialisée dans la technologie du tube réalise des produits qui réunissent de nombreuses solutions véritablement audiophiles.

Distribué depuis une dizaine d'années aux USA et en Australie, Keschull a acquis sur ces deux continents une image de marque hors du commun, tant sur le plan de la qualité de réalisation que sur des critères purement subjectifs de musicalité.

Extrêmement originales, ces électroniques germaniques sont les seules à proposer sur une même base (modèle 3570), plusieurs possibilités de tubes de puissance que chacun peut remplacer sans aucun réglage préalable, la polarisation s'effectuant alors automatiquement.

On peut ainsi à volonté monter les tubes pentodes de puissance suivants :

KT 88 GoldLion, 8417, 6550 A, 6CA7 ou EL 34 ;

bien entendu, les puissances de sortie peuvent varier en fonction du tube sélectionné.

Il s'agit donc du seul amplificateur permettant de choisir une famille sonore ou une autre, chaque tube offrant une esthétique sonore différente.

Ces tubes de puissance bénéficient de supports montés sur contre-platine suspendue, ceci afin de limiter les éventuels effets microphoniques.

Le redressement de la haute tension est effectué « à l'ancienne » par des valves, et les transformateurs de sortie emploient des tôles à grain réorienté 14 ou 28 fois (sur le modèle 150/800) que le concepteur veut considérer comme une véritable référence.

Principales références :

• **Amplificateur 35/70** Unité monophonique tubes (au choix) KT 88, 6CA7, EL 34, 6550, 8417. Puissance : 35 W (15 W classe A). Polarisation automatique. Sensibilité : 750 mV. Schéma de principe cathode Bias. Circuits imprimés épaisseur 200 microns. Transfo de sortie grain réorienté 14 fois. **Prix avec KT 88 : 19 500 F la paire.**



PREAMPLIFICATEUR 150

AMPLIFICATEURS 150/800



• **Amplificateur 150/800** Unité monophonique, tubes 2×(ECC 88), 1×(12BH75), 2×(ECC 82), 4×(KT 88 Gold Lion). Puissance : 50 W classe A, 150 W classe AB, 800 W en régime impulsionnel. Sensibilité : 750 mV. Poids : 55 kg. **Prix : 70 000 F la paire.**

• **Transformateur** sortie 960 VA tôles à grains orientés 28 fois. Impédance au choix de 1 à 32 Ω par pas de 1 Ω.

Préamplificateur 150 Entrée phono + MC par transformateur, CD, tuner, Aux., Tape, Check-up polarisation 1 mn. Tubes utilisés : E283CC. **Prix : 24 000 F.**

Atelier Esotérique Audio Visuel : 1, rue du Château 67190 Mutzig
Tél. 88.38.87.56

LECTRON

Créé en 79, Lectron a acquis un savoir-faire et une spécificité qui lui ont permis d'imposer des électroniques françaises raffinées au niveau international, cela sur l'ensemble des marchés intéressés par le haut de gamme.

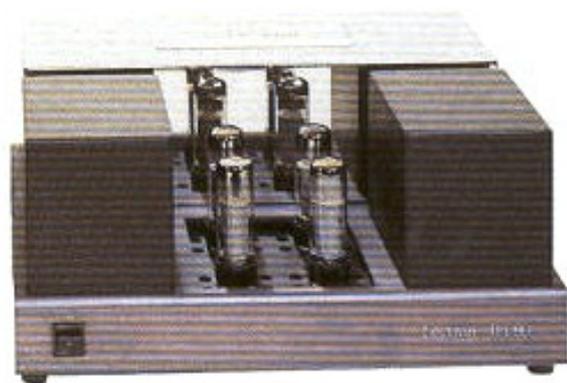
Après une première phase axée sur des amplificateurs à transistors en classe A avec des alimentations surdimensionnées, la firme se consacre désormais essentiellement aux électroniques à tubes pour des impératifs de qualité.

Avec, pour consultant Jean Hiraga, spécialiste et auteur de plusieurs ouvrages sur le sujet Lectron propose des électroniques caractérisées par une extrême homogénéité allée à une grande précision.

Elles n'ont pas, par exemple, le mauvais côté « typé » du tube dans le bas du spectre. Les remarquables résultats découlent d'une conception où configuration des circuits, choix d'alimentations très performantes et technologie des composants sont parfaitement maîtrisés avec un souci de corrélation permanent avec les caractéristiques d'écoute. Autour du produit-phare, le JH 50, la gamme actuelle comprend le JH 80 en configuration bloc mono et le JH 30 un intégré hybride.

Principales références

- **JH 30** : Amplificateur hybride intégré 2x30 W. Double push-pull EL 84. Etage d'entrée/driver transistorisé. Alimentation régulée des étages d'entrée. 4 entrées haut niveau, monitoring. Sortie automne 89.
- **JH 50** : Version 89 : Amplificateur 2x50 W. Push-pull EL 34. Tubes d'entrée et déphaseur/driver 6SJ7/6SN7. Alimentation régulée pour les étages d'entrée. Nouvelle alimentation régulée pour les grilles écran des tubes de puissance. Transformateur de sortie Partridge. **Prix** : 24 900 F.
- **JH 80** : Amplificateur monaural 80 W. Double push-pull EL 34. Circuit hybride. Etage d'entrée transistorisé. Alimentation régulée pour les étages d'entrée et driver. Alimentation régulée pour les grilles-écrans des tubes de puissance. Sortie 1, 4, 8 et 16 Ω avec sélecteur d'impédance. Condensateurs de filtrage haute tension non polarisés. Sortie automne 89.



LECTRON JH 80



Lectron : 1 boulevard Ney - 75018 Paris - Tél. : 42.38.84.53

LUXMAN

LUXMAN est l'une des plus anciennes firmes japonaises consacrant son activité à la reproduction sonore, en effet, ce grand spécialiste du tube électronique dont les débuts remontent à 1925 s'affirme toujours, en 1989, comme l'un des constructeurs les plus dynamiques.

Dès les années 40, LUXMAN proposait déjà des amplis et préamplis à tubes sans compromis, se créant ainsi dès cette époque une excellente image de marque auprès des amateurs de belle reproduction musicale.

Depuis, la technologie Luxman n'a cessé d'évoluer.

Il suffit pour s'en convaincre de constater l'immense succès remporté par les différentes générations d'électroniques transistorisées

mettant en œuvre le désormais célèbre circuit Duo-Beta,

dont le principe réside dans une double contre-réaction :

active pour l'extrême-grave et passive pour les fréquences élevées.

L'exceptionnelle expérience acquise par cette firme dans les deux technologies tube électronique et transistors a permis à LUXMAN de développer une gamme d'amplificateurs hybrides : les fameux LV 105 et LV 103

dont les récentes versions LV 105U et LV 103U continuent d'enchanter les audiophiles

épris d'ouverture sonore, de nuances et de richesse harmonique.

L'événement 89 pour LUXMAN fut incontestablement l'arrivée d'un lecteur compact bénéficiant de la technologie hybride : le D 105U

dont la section analogique fait appel en sortie à deux tubes triodes 6CG7

qui permettent à ce lecteur d'atteindre des sommets de musicalité inaccessibles auparavant à moins de plusieurs dizaines de milliers de francs.

Principales références :

• **D 105U** : platine laser équipée d'une partie analogique 100 % à tubes. Cette configuration permet à ce lecteur de gommer la dureté relative dans l'aigu que l'on peut reprocher aux lecteurs CD, même de très haut de gamme. Parfaitement adapté aux LV 103U et LV 105U dont elle reprend l'esthétique, cette platine possède de nombreux atouts de haute technologie. Double convertisseur D/A 18 bits. Suréchantillonnage 8 fois. Sortie analogique et sortie digitale optique ou coaxiale. Télécommande 32 touches avec réglage de volume. Fonction Fade Out/Fade In pour enchaînement de morceaux. 32 programmations. Circuit de masse en étoile « Star ». Accès direct aux plages. Lecteur possible sans adaptateur des CD 8 cm en plus des 12 cm. **Prix : 7 490 F.**



LECTEUR CD HYBRIDE D 105U

LUXMAN

Alpine/Luxman : Alpine Electronics France 98, rue de la Belle Etoile,
Z.I. Paris-Nord II. BP 50016. 95945 Roissy Charles-de-Gaulle Cédex
Tél. 48.63.89.89

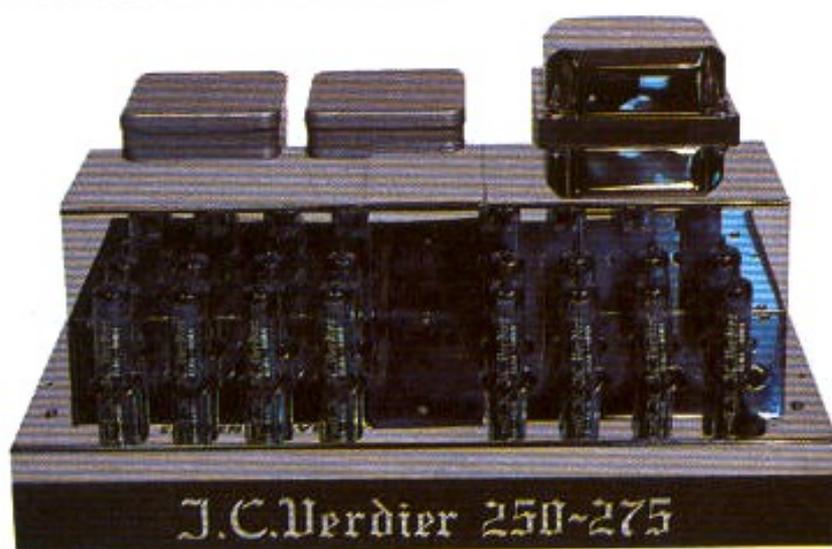
VERDIER

Quel audiophile n'a entendu parler en termes élogieux de la fameuse platine tourne-disque VERDIER, summum en matière de réalisation mécanique ? Cette superbe machine tournante réunit à elle seule de nombreux « traits de génie » à l'efficacité incontestable, regroupés pour une fois sur une même réalisation. M. Jean Constant Verdier présente cette année une gamme d'électroniques à tubes comprenant notamment l'amplificateur de puissance hybride : 250/275. Le schéma de cette unité stéréophonique en pure classe A, résolument novateur, permet pour la première fois de faire évoluer à volonté la forme du spectre de distorsion harmonique, ceci s'effectuant à l'aide d'un simple potentiomètre. On peut ainsi passer d'un spectre où les harmoniques impairs dominent (caractère d'un push-pull pentodes, souvent qualifié de dur) à un magnifique dégradé digne des meilleurs tubes triodes à chauffage direct. Une puissance de 50 W efficaces par canal est facilement obtenue grâce à une alimentation surdimensionnée, un quadruple push de tubes EL 84 et des transformateurs de sortie Millerieux dont la qualité n'est plus à démontrer. L'étage d'entrée met en œuvre des transistors PNP appairés en gain suivis d'un amplificateur de tension attaquant un étage darlington PNP monté en collecteur commun. La puissance initiale de 2x50 W peut être portée à 2x75 W en utilisant les tubes de sortie 7189 (caractéristiques identiques à EL 84 mais version renforcée professionnelle) polarisés dans ce cas en classe AB. A l'autre extrémité de la gamme, un ampli-préampli intégré de 2x10 W est également disponible sous la référence J.C. Verdier 210, celui-ci a pour ambition principale de constituer les canaux médium et aigus d'ensembles multi-amplifiés. Connaissant les exigences de M. Verdier en matière de « rendu sonore », l'amateur difficile ne sera aucunement surpris d'apprendre qu'à l'écoute, ces amplificateurs s'avèrent exceptionnels sur des critères tels que : ouverture sonore, dynamique et qualité de timbre pour un prix de vente public ne dépassant pas 15 000 F pour le modèle 250/275 dans sa version peinte et 2 950 F pour le 210 proposé en kit.

Principales références :

Amplificateur de puissance

• **Modèle 250/275 : Puissance :** 2x50 W pure classe A. Tubes utilisés : 16x(EL 84) + étages entrée et driver à transistors. Possibilité de modification du dégradé harmonique. Impédances de sortie 4, 8, 16 Ω. **Prix :** version peinte 15 000 F monté.



AMPLIFICATEUR 250/275

Ampli-préampli intégré

• **Modèle 210 : Puissance :** 2x10 W en pure classe A. 4 entrées : CD, Tuner, Aux., Tape + possibilité d'enregistrement d'une source durant l'écoute d'une autre. Tubes 1x(12AX7) 1x(ECC 81) 4x(EL 84). **Prix kit complet** 2 950 F.



Laboratoire JC Verdier Electronique Haute-Fidélité
5-7, rue d'Ormesson 93800 Epinay-s/Seine - Tél. 48.41.89.74

VTL

Distribuées dans l'Hexagone depuis seulement deux ans, les électroniques californiennes de M. David Manley surent rapidement se faire apprécier auprès des amateurs français les plus exigeants.

Reconnues de par le monde comme étant de véritables références en matière de haute musicalité, les VTL (Vacuum Tube Logic) sont pourtant élaborées à partir de schémas de principe relativement conventionnels.

Les remarquables résultats obtenus sont incontestablement le fruit du savoir-faire de David Manley qui n'hésite pas à user de solutions apportant un « plus » incontesté en matière de rendu musical.

Ainsi, l'important catalogue VTL ne comprend pas moins de dix références d'amplificateurs travaillant soit en pure classe A avec tubes pentodes utilisés en mode pseudo-triode ou ultra-linéaire, soit en classe ABI (pentodes ou tétrodes).

Quelle que soit la classe de fonctionnement adoptée, ces électroniques confirment à chaque fois une parfaite maîtrise des différentes configurations.

L'exceptionnel VTL Ichiban qui a stupéfié la presse mondiale, représente à lui seul ce qu'un très grand spécialiste du tube est capable de réaliser ;

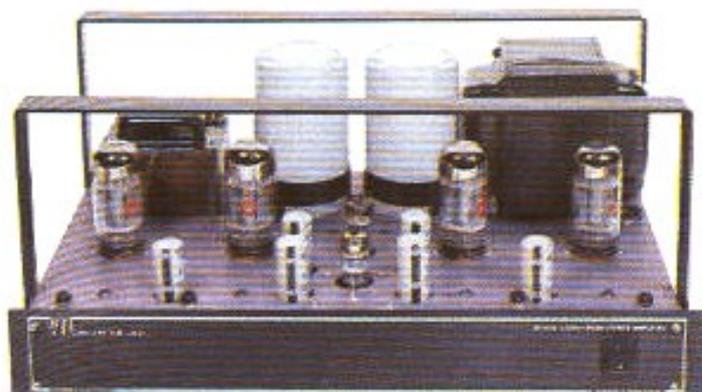
cet amplificateur utilise, en étage de puissance, 12 tubes EL 34 connectés selon le mode pseudo-triode.

Citons également une nouveauté 89 présentée sous forme d'unités monophoniques de 35 watts en pure classe A.

Ces amplificateurs reprennent une configuration d'étage d'entrée utilisant des tubes 12AT7 (ECC 81) tandis qu'un double push-pull de sortie met en œuvre deux paires de 5881 (6L6 version pro) dont la réputation de musicalité n'est plus à faire.

Principales références :

• **Ichiban** : amplificateur monaural à alimentation séparée. Tubes par canal : (12 × (EL 34) 1 × (ECC 81) 2 × (12BH7)). **Capacité de filtrage** : 6 600 μ F/400 V. **Fonctionnement** pure classe A. **Puissance** : 155 W. **Distorsion harmonique** : 0,06 % à 30 W. **Rapport signal/bruit** : non pondéré à puissance nominale : 95 dB. **Temps de montée à 10 kHz** : 4,0 μ s. **Impédance** : 4, 8, 16 Ω . **Prix** : 99 900 F.



AMPLI MONAURAL 35 W PURE CLASSE A



PREAMPLI VTL SUPER DE LUXE

• **VTL Mono de Luxe** : 120 W classe A1 et 50 W pure classe A. **Prix** : 44 350 F la paire. • **VTL Stéréo 45 et Stéréo 75** : amplificateurs stéréo 2 × 50 W (Stéréo 45) et 2 × 80 W (Stéréo 75). Tubes par canal (4 × (12AT7/ECC 81) 4 × (EL 34 (Stéréo 45) et 4 × (6550 (Stéréo 75)). Autres caractéristiques non communiquées. **Prix Stéréo 45** : 15 000 F. **Prix Stéréo 75** : 24 300 F.

La gamme VTL comprenant plus de 12 unités, il serait impossible de tout décrire sur cette unique page.



Présence Rive Gauche : 7, avenue du Maine 75015 Paris - Tél. 45.48.50.36.

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

V

ous souvenez-vous de cette édition
que nous voulions en parallèle à *L'Audiophile* :
Le Forum des audiophiles ?

*C'était en 1983. Hélas, le manque de disponibilité des uns et des autres
ne nous a pas permis d'en assurer une parution suivie.
Mais une bonne idée ne doit jamais rester trop longtemps dans l'ombre...
Voici donc sous la forme d'une nouvelle rubrique,
les impressions d'écoute recueillies sur le vif
de Christian Blérald (CB), Gérard Chrétien (GC), Vincent Cousin (VC),
• Jean Hiraga (JH), lors d'un comparatif de quatre lecteurs C.D.
associés au convertisseur Sony DAS-R1.*

FORVM DES AUDIOPHILES

J.H. : A propos des différents essais comparatifs que nous allons effectuer, il faut signaler que l'ensemble Sony CDP-R1 + DAS-R1 se trouve favorisé par rapport aux autres combinaisons avec le DAS-R1, ces deux maillons étant reliés par un double câble optique très performant.

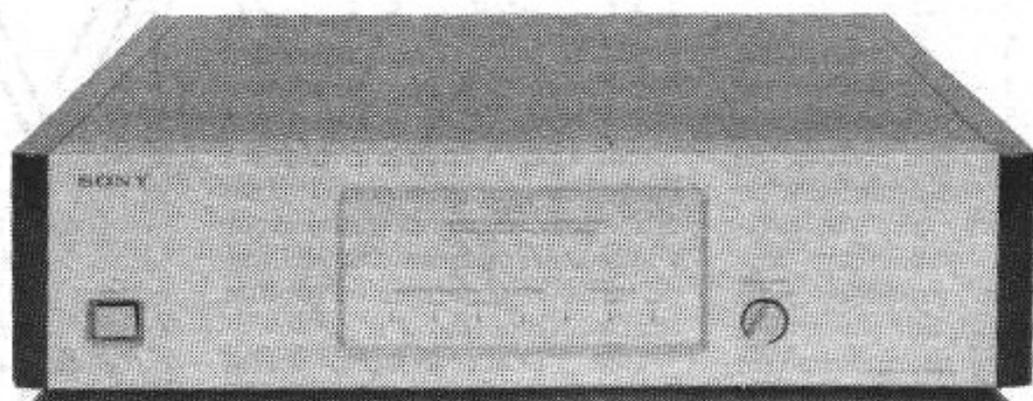
G.C. : En effet, sur ce haut de gamme, Sony ne pouvait rester indifférent au problème important de « jitter » dont on a déjà beaucoup parlé. Il y a toutefois une limitation inhérente à l'utilisation de connecteurs optiques non compatibles.

C.B. : C'est pourquoi il me semble plus équitable de faire des comparaisons en utilisant le même câble coaxial numérique entre les quatre lecteurs CD et le convertisseur DAS-R1. Bien qu'il ne faille pas négliger l'écoute avec le double câble optique dont il faudra parler également.

V.C. : Sur l'ensemble CDP-R1/DAS-R1, la liaison par double câble optique conduit à des résultats d'écoute nettement supérieurs (pouvoir de résolution, fluidité, transparence) à ce que l'on obtient à partir de la

liaison coaxiale.

J.H. : La notion d'équilibre tonal et celle de linéarité de réponse en fréquence sont celles qui frappent le plus l'oreille. Sur la majorité des lecteurs CD, la courbe de réponse niveau/fréquence tient dans la bande audio au dB près, ce qui n'est pas suffisant pour produire ce que l'on ressent parfois à l'écoute. L'ensemble CDP-R1/DAS-R1 apparaît sur ce plan comme très linéaire. Mais c'est l'association « fabuleuse » du Pioneer PD 9300 avec le DAS-R1 qui finit par semer le doute.



... autour du convertisseur Sony DAS-R1.

Car si l'ensemble CDP-R1/DAS-R1 est linéaire, c'est le PD 9300/DAS-R1 qui tend à creuser très légèrement le médium. Tout porte à croire qu'il s'agit du contraire et que ce serait plutôt le CDP-R1/DAS-R1 qui aurait tendance à renforcer les contours, le contraste du médium, ce qui pourrait conduire à cette sensation de légère mise en avant de celui-ci. Avec le même convertisseur, l'équilibre tonal du PD 9300 se rapproche assez de celui du Kenwood DP-X9010, le Micromega Optic pouvant être estimé comme se

situant à mi-chemin entre ces deux tendances. Les différences les plus marquées se situent en fait ailleurs.

C.B. : En ce qui me concerne, j'avoue apprécier chacune des combinaisons prises indépendamment. Je suis notamment agréablement « séduit » par l'ensemble Sony qui me paraît particulièrement chatoyant, dans le bon sens du terme, c'est un peu comme de la très grande cuisine qui vous ferait frétiller les papilles grâce à une sauce fantastique. Je dirais qu'en matière d'agrément ou plutôt de « fee-

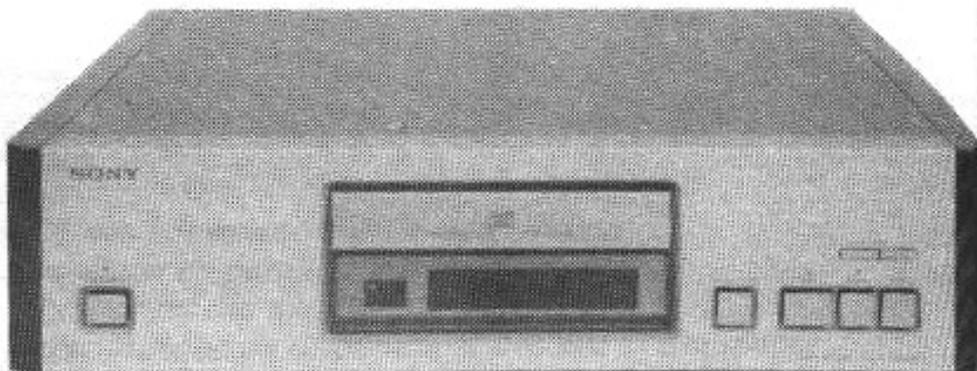
ling », l'association avec le lecteur Pioneer PD 9300 reste, malgré tout, la plus impressionnante par une résolution due à une impression subjective de recul de bruit. En fait, on a la sensation que cette combinaison sublime les petits échos, effets de salle, etc., c'est d'une véracité surprenante. Avec le Kenwood, la lecture devient plus rigoureuse, très belle, mais plus froide alors que le lecteur Micromega Optic me semble extraire un grand nombre de détails, on serait tenté de dire qu'il est le plus fouillé mais de façon moins nuancée, apparem-

ment plus dynamique sur certaines parties de la plage médium, mais n'est-ce pas une légère mise en avant ?

G.C. : Il y a un point qui me paraît surprenant. La comparaison de l'ensemble Sony CDP-R1/DAS-R1, relié par le double câble optique, éliminant les problèmes de « jitter » et le lecteur Pioneer, relié par câble coaxial et donc sujet au « jitter », ne me paraît pas se valider à l'écoute. En effet, l'image procurée par le Pioneer paraît plus précise, plus ponctuelle, avec un contour des instruments très net et un excellent positionnement en profondeur.

Toutefois, l'équilibre tonal de l'ensemble Sony, plus plein, plus chaleureux dans le bas médium, associé à un médium plus présent, lui confère une image plus en largeur. En fait, l'interpénétration de tous ces critères au niveau de notre perception n'est pas simple. On peut se demander également si le haut pouvoir de résolution de l'ensemble Sony ne transcrit pas des micro-informations présentes sur l'enregistrement, procurant ainsi une sorte de halo, une perception moins détournée du message et conférant un léger fondu des divers instruments. Il est délicat de discerner le « vrai » sans connaître parfaitement la prise de son.

V.C. : Un point sur lequel il me semble important de revenir est celui du câble utilisé en liaison numérique entre le lecteur et le convertisseur. Ceci pour rejoindre Christian Blérald lorsqu'il préconise d'utiliser strictement le même câble pour comparer les sections numériques des différents lecteurs. Le câble peut jouer un rôle de compensation entre lecteurs et convertisseur, à un degré moindre toutefois qu'un câble de liaison en analogique mais avec des différences suffisantes pour être remarquées et caractérisées. Cette particularité intéressante,



Le lecteur Sony CDP-R1.

nous l'avons mise en évidence en essayant tour à tour trois câbles différents : un Sony, un Accuphase et un Isoda. Je me garderai cependant d'établir un quelconque classement entre ces trois câbles, car là encore, tout est affaire de compensation même si, dans notre cas, l'Isoda m'a semblé à la fois plus équilibré et plus transparent. Je finirai en précisant qu'il s'agit à chaque fois de câble blindé, une comparaison entre Isoda blindé et non blindé ayant nettement tourné à l'avantage du premier. Il faut dire que le signal numérique s'apparente plus à de la HF que de la BF et donc que ce résultat était prévisible.

C.B. : D'accord avec Vincent Cousin pour dire que l'Isoda non blindé qui nous donne souvent d'excellents résultats entre préampli et ampli semble ici complètement comprimer le son. Il réduit à la fois image et dynamique alors que la version blindée est, dans ce cas, parfaitement adaptée. Par contre, il doit s'agir d'une affaire de goût entre les trois câbles blindés ; je ne serai pas aussi absolu, n'importe lequel des deux autres pouvant aussi me satisfaire ; mais il est exact que nous ne nous attendions pas à des écarts aussi nets sur un transport de signal numérique. Il est dommage que nous ne puissions faire de même à partir de fibres optiques car le connecteur du Sony n'est malheureusement pas standard. Je suis certain qu'avec des éléments

d'un tel niveau, les différences auraient été au moins aussi importantes sinon plus. Il faut dire aussi qu'en finalité, nous avons décidé d'utiliser (surtout pour des raisons pratiques) le câble optique spécial entre les deux éléments Sony ce qui, bien entendu, avantage cet ensemble qui bénéficie alors d'une seule horloge centralisée à la manière du système DPAC Kenwood.

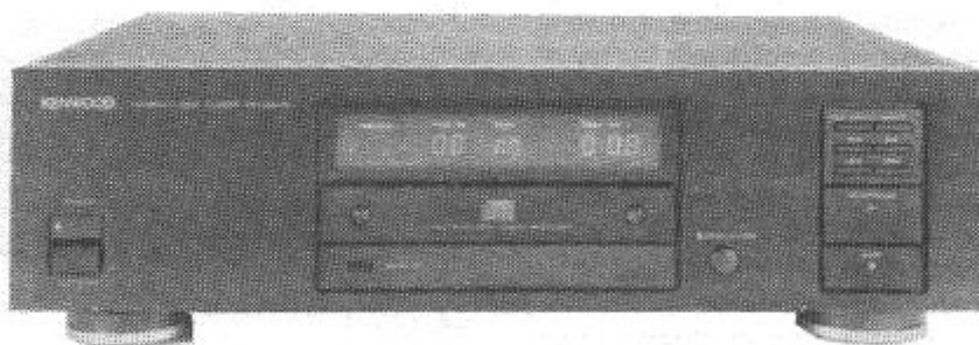
Sur le disque « Water Music » de Haendel, le lecteur Sony laisse apparaître, à mon avis, qu'il est le plus dynamique ; les instrumentistes sont en meilleure santé, le son reste très filé avec, malgré tout, beaucoup de corps et une absence totale de dureté qui caractérise d'ailleurs d'autres lecteurs du comparatif. Le Kenwood, sur ce même message, semble plus réservé, plus morne, tout en conservant une richesse de timbre et un soyeux de bon aloi, mais on y croit un peu moins. Le grave est le plus tenu du comparatif.

Micromega surprend à nouveau par un grand nombre de détails. Subjectivement il donne une courbe favorisant un peu plus le médium, ce qui donne un côté solide au message, en affirmant bien chaque son, beaucoup de corps mais impression d'extrême-grave légèrement en retrait (subtil) et extrême-aigu en place sans aucune flatterie, plutôt mesuré. En fait, le Micromega est l'anti-Pioneer qui, lui, reproduit ce type de musique en flattant l'extrême-aigu mais de

manière très, très subtile ; c'est soyeux et limpide. Je pense que cette constatation s'explique encore par le léger retrait du médium.

G.C. : Il est vrai qu'en première approche, le lecteur Kenwood donne une impression de retenue. Il a moins d'énergie que le lecteur Sony et l'écoute semble moins analytique qu'avec le Pioneer, il est moins flatteur. Pourtant, avec un peu de recul, il s'avère d'une neutralité et d'une luminosité exemplaires sur l'ensemble de nos messages. Il semble avoir une bande légèrement tronquée aux deux extrémités, moins ample dans le bas du spectre que le Sony et moins piquée que le Pioneer dans l'extrême-aigu. Pourtant il est toujours parfaitement juste et moins sujet que le Sony ou le Pioneer à un enthousiasme immédiat, à une préférence pour l'un ou l'autre en fonction du disque écouté. Je crois vraiment que c'est dû à ses grandes qualités de neutralité. Je ne serais pas surpris qu'avec le temps, le Kenwood ne se révèle comme étant le plus vrai.

Le Micromega est étonnant, il tient bien la comparaison avec ses challengers de prix beaucoup plus élevé. J'émettrais certaines réserves sur deux points. D'abord, en terme de plénitude, d'énergie, il n'a pas le souffle du Sony. Ensuite, le haut de spectre n'est pas aussi léger, aérien que sur le Pioneer, voire le Kenwood. Cependant sa résolution est tout à fait remarquable. Il est



Le lecteur Kenwood DPX 9010.

très loin d'être ridicule dans cette configuration où, je le crois, nous avons des lecteurs de haute volée. Décidément, le numérique, que l'on pensait être figé par des normes quelque peu « étriquées » n'a pas fini de nous étonner.

J.H. : Tout cela semble d'ailleurs concorder avec les constatations de plusieurs critiques japonais qui apprécient particulièrement la neutralité de l'ensemble Kenwood/Sony. Le vrai problème qui se pose est que, selon les combinaisons, les qualités ressenties ne sont pas les mêmes. Il est, de ce fait, difficile de faire un classement. L'ensemble Sony apparaît comme étant le plus dynamique, le plus analytique dès que l'on atteint des niveaux d'enregistrements inférieurs à -40 dB environ. L'ensemble Kenwood/Sony semble être le plus linéaire, le plus neutre. Par rapport à ces deux combinaisons (c'est important de le noter) l'ensemble Pioneer/Sony donne l'impression de relever une zone située quelque part dans l'extrême-

grave et dans le bas-médium tout en creusant de façon subtile le médium-aigu. Il en résulte un équilibre tonal tellement réussi que, plus on l'écoute, plus cet ensemble donne l'impression d'être parfaitement linéaire. A ce caractère s'ajoute une aptitude remarquable au niveau de la restitution des faibles variations de hauteur et de niveau. Les notes filées durent plus longtemps, avec un côté chantant, onctueux qui n'est pas sans influencer l'aspect émotif de l'écoute. A l'opposé, c'est en prenant pour référence, soit l'ensemble Sony, soit la combinaison Kenwood/Sony que l'on en vient à se demander si l'ensemble Pioneer/Sony ne tend pas à rendre les sons plus beaux que nature. Faute de pouvoir dire « ce qui est le mieux » on se trouve contraint de faire état de ce qui est ressenti dans chaque cas. Mais il ne faut surtout pas oublier de dire que le Micromega suivi du convertisseur Sony prend une très bonne position compte tenu de son prix. Lorsqu'il est suivi de son convertisseur séparé Duetto, l'écart de prix par rapport à l'ensemble Sony est énorme pour une différence de qualité sonore qui l'est nettement moins. C'est donc une superbe affaire.

G.C. : C'est vrai, le Pioneer a une aptitude surprenante à faire chanter le message. Il est terriblement expressif. Quel feeling. Une toute petite réserve toutefois, sa très légère accentuation dans l'extrême-aigu peut être

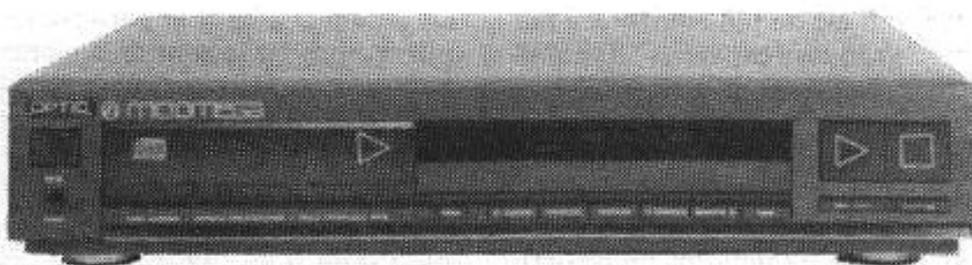


Le lecteur Pioneer PD 9300.

agaçante à long terme. Ce serait un point à confirmer.

C.B. : En ce qui me concerne, aussi déconcertant que cela puisse être pour qui devra nous lire, j'avoue que sur le disque « Scratch » de Kenny Barron, le Sony est incontestablement le meilleur (impression de lisibilité) en liaison optique double. Relié en coaxial, je trouve que la perte qui lui est infligée le rend alors un peu moins agréable que le Pioneer, toujours un cran au dessus du Micromega et Kenwood qui, à mon avis, possèdent un caractère assez proche dans la neutralité. Donc, pas de doute, le Sony doit être utilisé avec son câble spécial et, dans ce cas, je persiste à croire qu'il est le plus dynamique et le plus vivant. Une mention au Micromega qui, testé hors compétition avec son convertisseur Duetto (3 500 F) arrive sans toutefois égaler le convertisseur Sony (étalon de ce comparatif) à une reproduction assez proche en qualité globale. Belle prestation car il s'agit d'une combinaison dont le prix est inférieur de plusieurs dizaines de milliers de francs à l'ensemble Sony.

V.C. : Au fil des écoutes, ce que je tenais pour des certitudes — Sony hyper-défini mais un peu tendu, Pioneer très chaleureux mais manquant parfois de précision, Kenwood très équilibré mais un peu froid et Micromega nuancé et chantant mais un peu juste en définition — se transforme peu à peu en doutes et en interrogations et l'on voit bien alors à quel degré de subtilité on en est rendu dans une confrontation ne mettant en jeu que la section numérique des différents lecteurs. Heureusement qu'il n'y en a que quatre ! Par exemple, le Sony fait merveille sur des instruments anciens ou des messages très complexes et riches en harmoniques. On a un peu une impression de direct, de « close-up » qui est très spectaculaire. Le Kenwood est irrépro-



Le lecteur Micromega Optic.

chable en termes de linéarité et de lisibilité des signaux même les plus fins, ce qui en fait le champion des messages où l'ambiance joue un rôle prépondérant (disque « The Pulse » notamment). Quant au Pioneer, il se montre souverain sur les enregistrements type trio de jazz piano-basse-batterie où il laisse libre cours à son feeling. J'apprécie également beaucoup le Micromega parce qu'il « passe » toujours avec aisance et distinction même si je regrette qu'il n'aille pas toujours assez loin dans l'analyse.

C.B. : Après plusieurs séances d'écoute parfois rapides (afin d'éviter la fatigue auditive), parfois longues pour le plaisir et susceptibles cette fois de provoquer la dite « fatigue », la situation finit par s'éclaircir et les caractères propres se confirment. Désormais, c'est certain, les deux plus impressionnants en lisibilité sont Sony et Kenwood, mais en fonction du disque choisi tout peut basculer en faveur de l'un ou de l'autre.

Pioneer mérite le prix d'excellence de la séduction, sa profonde image et la relative mise en avant des petits détails, échos, etc., sont dus en fait à son médium légèrement creusé qui ne crée aucun masque sur les informations situées dans le haut-médium et l'aigu. Mon avis a donc légèrement varié après avoir vécu plusieurs jours avec, car il est évident qu'il triche un peu, mais de manière tellement jolie que l'écoute de cet appareil reste de très haut niveau sur le plan agrément.

Une conclusion s'impose mal-

gré tout : si l'on fait abstraction du prix du Sony, il est celui qu'on aimerait pouvoir s'offrir, sa finition est sans reproche, c'est un véritable bijou à la mécanique exceptionnellement silencieuse et l'objet est tellement beau... Ensuite vient, à mon avis, l'association avec Kenwood, beaucoup plus neutre (peut-être encore plus vraie) mais plus morne, précis et rigoureux à la manière du fameux DP 1100 SG, Muse d'Or d'octobre 88, c'était d'ailleurs le seul contre-argument à lui opposer, mais notre compte rendu d'écoute le précisait déjà à cette époque.

J'insisterai à nouveau sur le Micromega qui, à un prix défiant toute concurrence, arrive à un niveau équivalent, il réunit les caractéristiques de deux des trois autres lecteurs : précision, détail et neutralité sans posséder toutefois le côté artificiellement chantant du Pioneer ; mais n'est-ce pas une qualité ?

J.H. : Les doutes et les interrogations que nous avons pu avoir à propos de ces quatre appareils pourraient provenir du fait que, lors de ces comparaisons, notre attention ne porte pas toujours sur les mêmes détails du « paysage sonore ».

Le Pioneer PD 9300 apparaît comme légèrement physiologique par rapport au Kenwood DP-X 9010 qui, lui, semble le plus droit des quatre lecteurs mis à l'épreuve. Comparé au Pioneer, le Sony semble rehausser légèrement en forme de plateau une zone étendue du médium, ce qui pourrait expliquer sa restitution extrêmement nette, contras-

tée, qui est de plus renforcée par ses grandes capacités dynamiques. Le Microméga semble être sujet aux mêmes tendances quoique nettement moins marquées. Le Microméga n'atteint pas les performances du Sony sur les critères de dynamique ou de définition à bas niveau. Sa force semble plutôt se situer au niveau du rendu des nuances, de la perspective stéréophonique, de la conservation d'un bon équilibre sur des instruments dont les timbres particuliers tendent à rendre très facilement le son agressif ou projeté dans le médium.

Sur la majorité des programmes musicaux, le Pioneer est le plus beau, celui qui « chante » le mieux les messages, marquant

les accents, faisant apparaître les plus petites variations de hauteur sur une note. Il est surtout capable de restituer les fins de notes avec une beauté, une plénitude qui font penser à celle de tables de lecture analogiques britanniques dont il est inutile de citer le nom. Quant à la neutralité « excessive » de l'ensemble Kenwood-Sony, il a fallu de longues écoutes pour s'en rendre compte. Le même effet existe sur les téléviseurs, ceux dont les couleurs semblent les plus belles, n'étant pas forcément les plus neutres.

G.C. : Indiscutablement, les avis se recourent. L'expérience est terriblement intéressante. Elle montre très clairement les

aléas de l'écoute que seule une prise de recul permet d'éliminer. Il faut dire que la confrontation reposait sur trois lecteurs remarquables, avec le Microméga en « outsider » et qu'aucun ne présentait de défaut marqué. Plutôt, chacun a son charme, son caractère et, suivant la nature du message, ses particularités, notre attention se focalisera sur tel ou tel aspect de la restitution. Je rejoins en cela les remarques de Jean Hiraga. Ainsi, je ne suis nullement surpris des performances du Kenwood, sa grande neutralité ne pouvait s'imposer qu'après de longues écoutes. Les qualités spécifiques des trois autres lecteurs ont été mises en valeur plus rapidement.

AUDIO SYNTHÈSE

- AU CŒUR DE MONTPARNASSE
- 2 AUDITORIUMS

COMPARAISONS DIRECTES :
Platine tourne-disque - Lecteur de compact-disc
Amplificateurs - Enceintes acoustiques

- S.A.V. - INSTALLATIONS

CREEK, MISSION, CYRUS, REGA, LINN PROJECTS, NAIM AUDIO, CASTLE, JPW, MB QUART, ARCAM, MICROMEGA, MARANTZ, HEYBROOK, ION SYSTEMS, MONSTER CABLE, QED, SYNONYME, AW AUDIO, ARISTON, NAKMACHI, etc.

AUDIO SYNTHÈSE
CONSEIL HAUTE-FIDELITE

124, rue du Cherche-Midi 75006 Paris - Métro Duroc - Tél. : 45-44-55-34
De 11 h à 12 h 30 et de 14 h à 19 h sauf lundi



LE MUSEE IMAGINAIRE

A.R. Balaton

L

a WE 300 B est la remplaçante de la 300 A.

Cette triode à chauffage direct de moyenne puissance fut développée au milieu des années 30 pour une nouvelle génération d'amplificateurs de cinéma (WE 86, WE 91) produits par la Western Electric Company, filiale du groupe AT&T

(American Telephone & Telegraph) (1).

Ce tube légendaire, sorte de synthèse de tout le savoir-faire de Western Electric, est considéré à juste titre par nombre d'audiophiles perfectionnistes comme la reine des triodes.

Relativement peu de lecteurs savent que la 300 B a continué d'être fabriquée jusqu'en fin 1988 dans une usine AT&T située dans la banlieue de Kansas City, dans le Missouri. C'est en fait le dernier tube produit par AT&T (2).

Cet événement historique, la disparition des tubes chez Western Electric, fournit l'occasion d'en retracer brièvement l'histoire. Suivra un aperçu de la fabrication de la 300 B.

75 ans de



Cet article est dédié à Jean Hiraga qui a fait découvrir à l'auteur les réalisations de la Western Electric et lui a donné envie d'en savoir plus.

I. L'organisation AT&T

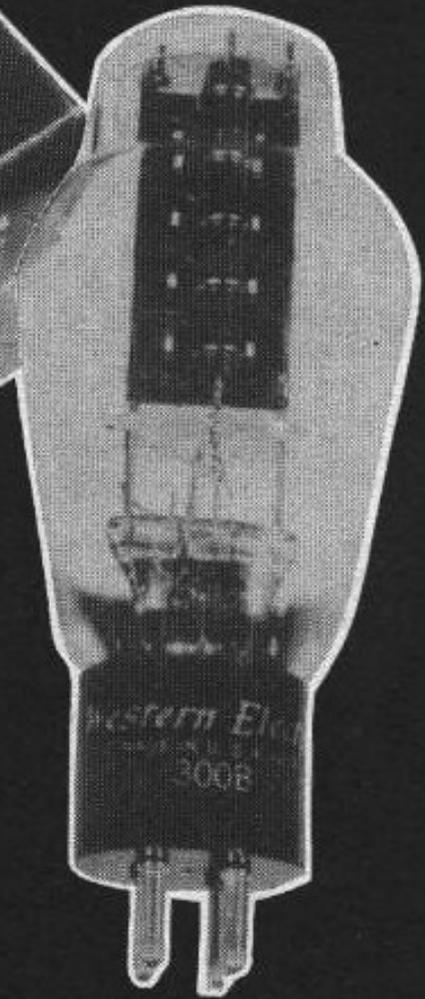
Le développement des télécommunications aux Etats-Unis est fondé sur l'extraordinaire succès de ce groupe.

Ce succès pourrait être expliqué par l'adhésion à deux idées fondamentales : faire de la science un partenaire permanent du groupe et concentrer tous les efforts commerciaux vers un seul but : les télécommunications. Les premiers leaders du groupe AT&T ont contribué pour une

tubes !

Western Electric
ELECTRON TUBE

Western Electric
ELECTRON TUBE



grande part à la croissance spectaculaire du téléphone. Reconnaisant que le téléphone, fruit de la recherche scientifique, ne pourrait continuer à se développer sans l'aide de la science (3), ils prirent une décision très importante, celle de poursuivre à l'intérieur du Groupe l'ensemble des recherches scientifiques nécessaire à une amélioration permanente du téléphone et des télécommunications (4). Cette politique supportant la recherche scientifique fut adoptée dès 1885 (5).

En 1925, l'organisation supportant le développement du téléphone avait atteint sa maturité et se composait des éléments suivants :

— une société holding, l'American Telephone and Telegraph, qui détenait les brevets du téléphone, le réseau des lignes téléphoniques à grande distance et les actions des autres sociétés du groupe ;

— un outil de production, la Western Electric Company, assurant la conception et la fabrication des équipements

nécessaires au groupe (6) ;

— un outil de recherche, la Bell Laboratories Incorporated, assurant la recherche fondamentale ou appliquée requise par les activités du groupe (7) ;

— un outil opérationnel, les 21 sociétés de téléphonie locales Bell.

La devise, l'objectif commun liant entre elles toutes les firmes dépendant du groupe était la volonté, l'engagement de fournir les meilleures communications possibles (9). Cette devise a conduit le groupe AT&T à définir, à

travers les temps, une autre politique fondamentale, celle de se retirer d'activités « périphériques » par rapport à cette mission fondamentale. Plusieurs fois au cours de son histoire, AT&T a abandonné ou mis en vente une de ses filiales non pas parce que celle-ci ne réalisait pas de profit mais parce qu'elle ne faisait pas partie de l'activité fondamentale du groupe, : les télécommunications(10).

C'est dans cette optique qu'il faut apprécier l'arrêt de la fabrication de tubes par Western Electric. Aujourd'hui, malgré leur longue et riche histoire, les tubes ne jouent plus aucun rôle dans les activités d'AT&T.

II. Fabrication des tubes chez Western Electric Co.

Bien que le tube thermoionique n'ait pas été inventé par Western Electric, cette firme a toujours été à l'avant-garde des efforts prodigués en vue de son amélioration.

A travers l'histoire des tubes, Western Electric n'a cessé de démontrer ses compétences en matière de qualité, de fiabilité et d'efficacité.

A. Les débuts

À l'aube du 20^e siècle, AT&T était à la recherche d'un savant capable de développer de nouveaux appareils amplificateurs de façon à développer le réseau des lignes téléphoniques à grande distance. En 1911, le célèbre Dr Arnold rejoignait le bureau de recherches du département technique de la Western Electric avec pour mission l'élaboration rapide de ces appareils (11). En octobre 1912, il fut témoin d'une démonstration réalisée par Lee De Forest sur un amplificateur basse fréquence utilisant son fameux tube triode baptisé Audion (12). Malgré des résultats peu enthousiasmants, cha-

cun put se rendre compte du potentiel d'une telle invention. Aussitôt, AT&T s'embarquait dans la grande aventure du développement du tube triode.

Plusieurs accords de protection furent conclus autour des brevets de base de De Forest (tube triode) et de Lowenstein (pour polarisation grille). Arnold fut mis à la tête d'une équipe de chercheurs avec la mission d'améliorer les performances de l'Audion (13) et d'étudier les applications des circuits de base. Arnold établit rapidement qu'un vide imparfait défavorisait les performances du tube. Il remédia à cette situation dès le début de 1913 (14). À la même époque, plusieurs de ses collègues s'attaquèrent au problème de l'émission électronique des cathodes chaudes (émission thermoionique) ainsi qu'au problème de la géométrie des électrodes (15) tandis que d'autres chercheurs établirent les paramètres des circuits de base à tubes (16).

B. L'ère de la triode (1913-1935)

En octobre 1913, les premiers répéteurs téléphoniques (amplificateurs) furent mis en service sur la ligne reliant Washington D.C. et New York. Ces répéteurs étaient des tubes à vide équipés de bulbes en verre sans embase, d'un filament en alliage platine-iridium recouvert d'une couche émissive à base de baryum, ainsi que d'une grille et d'une plaque en nickel.

En janvier 1915, la première liaison téléphonique intercontinentale fut inaugurée. Elle utilisait le code 101A. Ces tubes étaient constitués d'un filament plus robuste, d'une grille de structure plus perfectionnée et d'une embase à broches. La durée de vie moyenne de ces tubes, soit 1000 heures, se trouvait améliorée de 10 par rapport au code 101A.

La première guerre mondiale

fut à l'origine de très nettes améliorations des tubes du point de vue de la rigidité de leurs électrodes que l'on note dès l'apparition des versions militaires VT-1 et VT-2. La dissipation plaque fut, elle aussi, considérablement augmentée de façon à rendre possibles les communications intercontinentales (codes S et W, de dissipation plaque respective de 50 et 250 W) (17). À la fin de la guerre, les buts poursuivis par AT&T avaient été atteints. On connaissait désormais tous les paramètres relatifs à la triode et on possédait la maîtrise d'une fabrication en série, fiable et uniforme (18). Pour chaque application, les ingénieurs avaient à leur disposition une panoplie de circuits de base. Les années suivantes amenèrent un flot constant d'améliorations portant sur la durée de vie des tubes et aussi sur leur rendement (réduction de la consommation en courant).

Ces évolutions auront lieu en majeure partie entre 1913 et 1940.

En 1925, la durée de vie moyenne des tubes pour répéteurs téléphoniques se trouva multipliée par 50 par rapport aux premières séries A, soit plus de 20 000 heures, tandis que les consommations filament étaient diminuées de 80 %. Quelques années plus tard, le tube 102F atteignait même une durée de vie exceptionnellement longue de l'ordre de 70 000 heures (19). La recherche d'un meilleur rendement des tubes fut aussi poursuivie dans la spécialisation des fonctions des tubes. En 1925, 15 types différents de tubes étaient produits dans des ateliers situés au 395 Hudson Street, dans le centre de New York et à Hawthorne dans l'Illinois.

Les exigences de certaines applications comme celles du cinéma parlant firent évoluer les recherches sur des tubes à faible bruit et à faible effet microphonique (20).

Pour les tubes de puissance, la

même recherche du rendement se traduit par une augmentation de la puissance de sortie avec une consommation plus faible. Lorsque, par exemple, la 300 A fut présentée pour la première fois au public, son efficacité fut mise en valeur par comparaison directe avec celle du tube WE 242 A, dans le cadre d'une application type (21) :

	WE 242 A	WE 300 A
Tension plaque (V)	800	325
Courant plaque (mA)	67,5	60
Puissance de sortie en push-pull (W)	12	15
Consommation filament (W)	32,5	6

Comparaison des caractéristiques principales des tubes WE 242 A et WE 300 A.

C. Recherche en vue d'une meilleure efficacité aux fréquences élevées

D'une certaine façon, la 300 A fut le « chant du cygne » des triodes à chauffage direct dont le champ d'application était surtout la basse fréquence (22). Entre-temps, les besoins de AT&T s'étaient déplacés et focalisés vers les fréquences V.H.F., là où des bandes passantes beaucoup plus étendues devenaient nécessaires pour accepter les fréquences porteuses des systèmes de transmission (radio et télévision). En conséquence, les années 30 virent naître les premiers tubes multigrilles que l'on favorisa au détriment de la recherche sur les triodes. Ainsi, plusieurs générations de pentodes se succédèrent avec des applications concentrées sur des bandes de fréquences de plus en plus élevées.

La première génération de pentodes culmina au moment de l'apparition de la 310 A, en 1937, une pentode qui, sur le plan technologique, descendait directement des tubes à grand gain et à faible bruit conçu quelques années plus tôt pour le

cinéma parlant (23). Pour les transmissions par porteuse et le système coaxial L-1, un tube spécial fut mis au point en 1939. C'était un tube sans embase, avec la connexion plaque sous la forme d'un téton situé au sommet du tube, un peu à la manière des premiers tubes parus en 1913. Il s'agissait du modèle 386 A (24).

En 1948, une nouvelle famille de tubes fut conçue (435 A, 436 A, 437 A) pour les systèmes coaxiaux 8 MHz de type L-3. Ces tubes étaient munis d'une cathode en forme de tube aplati. La grille était constituée d'un fil de tungstène tendu et brasé à l'or pur sur un cadre entretoisé en molybdène. Grâce à la rigidité, à la précision ainsi obtenues, il devenait possible de réduire jusqu'à des valeurs extrêmement faibles l'espace entre la grille et la cathode (6 μm environ) (25).

A la même époque, la production des tubes à vide s'installait dans une nouvelle usine située en Pennsylvanie, à Allentown, la première usine se consacrant entièrement à la fabrication des composants électroniques. En 1958, cet espace fut libéré au profit de la mise en place d'équipements pour la fabrication de semi-conducteurs. Une partie de la fabrique des tubes se trouva ainsi déplacée dans le Missouri, à Kansas City. Quatorze ans plus tard, le reste de la ligne de fabrication des tubes d'Allentown était transféré lui aussi à Kansas City. Dans cette usine de 140 000 m² consacrée en majeure partie aux circuits inté-

grés, on pouvait voir quelque chose d'unique au monde : sous le même toit se trouvait toute l'histoire de l'électronique, non pas sous forme de musée mais d'usine produisant des tubes, des composants discrets semi-conducteurs et des puces de circuits intégrés.

III. Fabrication de la WE 300 B

La fabrication et la conception de la 300 B illustrent fièrement la rigueur, le très haut standard de qualité que n'a cessé de promouvoir Western Electric dans la technologie du tube à vide.

La majorité des problèmes relatifs à la conception d'un tube à vide repose sur la nécessité de conserver fermement la géométrie des électrodes (26), de protéger un vide très poussé à l'intérieur de l'enveloppe en verre (ou bulbe) (27) pendant toute la durée de vie du tube et ceci en présence de températures élevées (28). Les températures élevées entraînent des phénomènes de tension mécanique, de dilatation, de voile ou de déformation, de même qu'un phénomène d'échappement de gaz inclus dans les matériaux concernés, le tout se traduisant par une détérioration de la qualité du vide et par une diminution rapide de l'émission électronique. La fabrication des tubes est de ce fait basée sur l'utilisation de matériaux sélectionnés ainsi que sur un important savoir-faire au niveau des techniques de fabrication et de montage. C'est avec beaucoup d'attention sur ces différents points qu'il est possible d'atteindre les objectifs souhaités.

A. Composants du tube

1. Enveloppe du tube

L'enveloppe du tube doit être considérée comme un « contenant de vide ». Cette enveloppe doit être conçue pour résister aux différences de pression existant

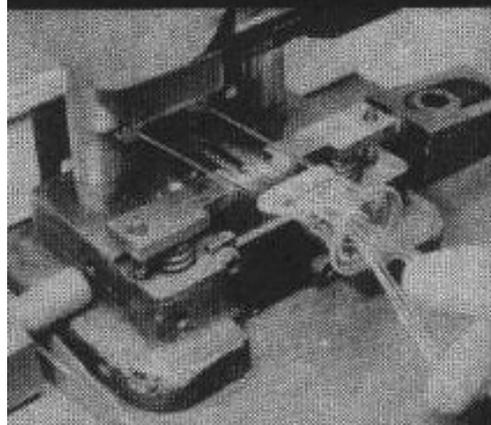


Fig. 1 : Montage de la base en verre du tube.

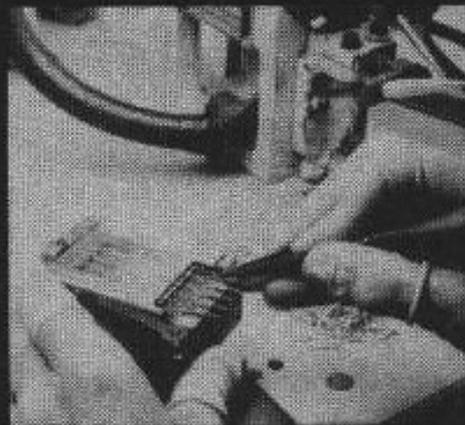


Fig. 2 : Mise en place du filament sur un gabarit.

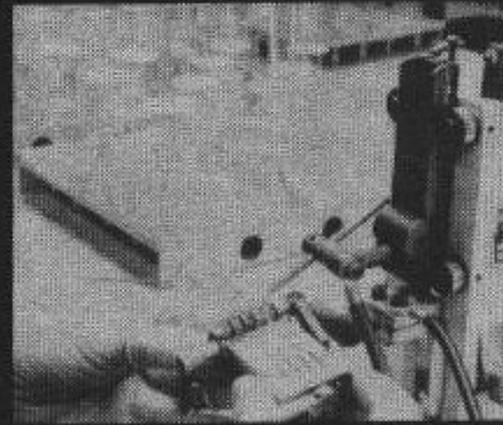


Fig. 3 : Soudure des connexions du filament.

entre l'atmosphère ambiante et le vide interne. Cette enveloppe doit donc être particulièrement étanche, chimiquement inerte et sans gaz inclus dans sa paroi. Elle doit également assurer une bonne dissipation de la chaleur émise par les électrodes placées à l'intérieur de celle-ci. Durant toutes ces années, le verre a été de loin le matériau le plus économique, le plus utilisé sur les tubes de réception. De leur côté, les enveloppes en métal et en céramique ont été testées puis utilisées pour l'armée ainsi que pour des applications en V.H.F. (29).

Les concepteurs du tube 300 B ont choisi pour celui-ci le bulbe ST-19, le plus large du nouveau format standard introduit en 1932. D'une épaisseur moyenne de 1,05 mm, ce bulbe est constitué de verre tendre potasso-sodique (soda-lime glass). Son élasticité facilite le scellement avec l'embase de verre supportant les électrodes, celui-ci s'opérant par fusion des surfaces à joindre, le point de fusion bas de ce bulbe facilitant le scellement. Contrairement aux idées reçues, le bulbe n'est pas un parfait isolant électrique. Il est au contraire très légèrement conducteur, ce qui permet de décharger la paroi interne qui peut être frappée par des électrons s'échappant des électrodes. L'embase du tube (stem en anglais) est constitué d'un verre chargé au silicate de plomb de

plus grande résistivité électrique. Les connexions électriques traversant cette embase étant peu espacées, un très bon isolement est nécessaire de façon à éviter un effet d'électrolyse qui pourrait libérer des gaz (30) sous des températures élevées.

Les connexions traversant l'embase de verre sont réalisées en « Dumet », alliage ferro-nickel et cuivre, cet alliage étant conçu pour produire un coefficient de dilatation thermique très proche de celui de l'embase. Cette précaution garantit un très bon scellement du tube au niveau de la jonction métal/verre des connexions et préserve le degré de vide à l'intérieur du tube (31).

2. Composants internes

Le nickel et ses alliages ont été les matériaux préférés des constructeurs au niveau de la plupart des éléments constitutifs des tubes de réception de petite et de moyenne puissance pour lesquels le prix ne fait pas l'objet de conditions particulières (32). Le seul inconvénient de ce métal et de ses alliages est, pour certaines applications, ses propriétés magnétiques. La plaque du tube remplit deux fonctions en plus de la collecte des électrons. La première est d'être capable de dissiper la chaleur générée par le flux d'électrons la frappant. La seconde est de contribuer à la rigidité et à la précision de positionnement des autres électrodes

étant donné qu'elle est l'électrode périphérique. La plaque de la 300 B est constituée de deux pièces nervurées, formées par estampage puis soudées entre elles. Cette plaque est constituée de nickel de grade 1. Sa forme, son pliage formant des ailettes, le nombre et la continuité des nervures au niveau des parties pliées contribuent à améliorer sa rigidité. Celle-ci est un facteur important dès que l'on réduit l'espace entre les électrodes, faute de quoi on accroît le risque de faux contacts entre les différentes électrodes. La plaque est traitée par un procédé de carbonisation qui améliore ses capacités de dissipation thermique (33).

La grille du tube doit répondre à plusieurs exigences. En premier lieu, elle doit être constituée d'un matériau conducteur à la fois souple et résistant qui doit assurer après bobinage sur les supports un alignement impeccable des spires. Les spires de la grille doivent d'autre part conserver leur géométrie pendant toute la durée de vie du tube, ceci sous des contraintes thermiques importantes.

Elle doit également réémettre le minimum d'électrons, même si les spires de celle-ci ont été contaminées par des poussières de baryum provenant du filament (34). La grille de la 300 B est constituée d'un fil de molybdène enroulé en spirale sur deux supports pour former un cadre qui,

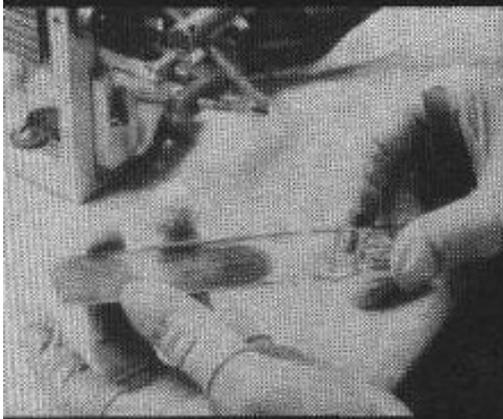


Fig. 4 : Assemblage de la grille.

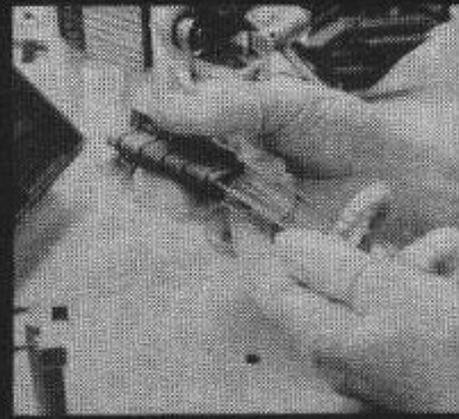


Fig. 5 : Montage de la plaque.

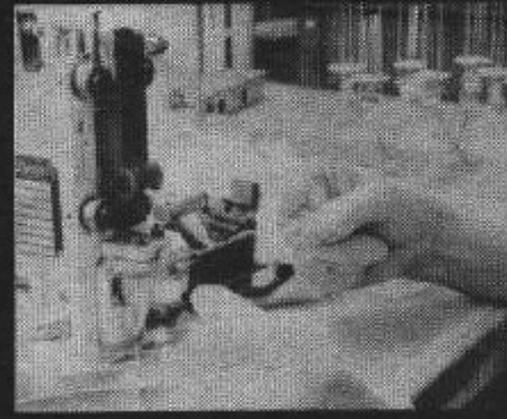


Fig. 6 : Fixation par soudure de la plaque.

vu de dessus, présente une allure de rectangle allongé. Les deux supports en nickel de grade 2 sont munis de petites encoches latérales dans lesquelles les spires de la grille sont serties.

Le filament (ou la cathode s'il s'agit d'un chauffage indirect) est l'élément-clé d'un tube à vide. Surface qui émet des électrons sous l'effet d'une énergie (chaleur dans presque tous les cas), le filament doit répondre à des caractéristiques assez contradictoires. Il doit être capable de produire un flux copieux d'électrons avec efficacité (consommation réduite) et de façon continue (faible taux d'épuisement de la surface émissive du filament) pendant toute la vie du tube. Ceci nécessite une attention toute particulière quant au choix des caractéristiques des matériaux constituant la couche émissive, ainsi que de celles du filament. Très tôt, Western Electric choisit les oxydes métalliques et les composés à base de terres alcalines puisqu'ils avaient été reconnus comme les plus efficaces émetteurs d'électrons, comme couche émissive, enrobant un filament dont la composition a évolué au cours des ans au fur et à mesure d'une meilleure compréhension des phénomènes complexes d'émission cathodique (35). Le filament de la 300 B est constitué d'un ruban plat en alliage au nickel enrobé d'une couche d'un composé à

base de triple carbonate de baryum (36). Il est placé dans le tube selon une configuration de double « M », les deux « M » étant reliés en parallèle au lieu du simple « M » habituel à Western Electric. Cette configuration permet d'étaler de façon homogène la distribution du flux électronique sur l'ensemble de la face interne de la plaque.

Le getter (se prononce « G-terre ») remplit deux fonctions complémentaires : produire et préserver un degré de vide adéquat à l'intérieur de l'enveloppe du tube après le pompage de l'air et le scellement. Cette opération est réalisée par introduction d'un élément métallique qui présente de grandes affinités avec les différents gaz résiduels. Ce getter réalise en quelque sorte un véritable pompage final de ces gaz après l'opération de pompage de l'air (37). La 300 B utilise un getter du type surnommé « flash getter » constitué d'une mixture de carbonates de calcium et de baryum ainsi que d'une certaine dose de magnésium, qui permet d'enflammer ce mélange et de le porter rapidement à la température de 300° C qui est celle de fonctionnement optimum du getter dont le support est en nickel.

B. L'assemblage

Le choix approprié pour chacun des composants constituant le tube n'est pas une condition

suffisante pour assurer une performance optimale. Le procédé de préparation des matériaux, des composants ainsi que diverses précautions prises au cours de l'assemblage ont aussi leur importance vis-à-vis des performances recherchées et d'une longue durée de vie.

Les matériaux utilisés doivent être d'une propreté méticuleuse. Les assembleurs utilisent des gants de caoutchouc lors du montage. Des lubrifiants sans sulfure doivent être utilisés pendant les diverses opérations mécaniques de traçage, d'usinage, d'estampage ou de bobinage. Sans cette précaution, le vide serait rapidement contaminé, dégradant les capacités émissives de la cathode (38). Après le nettoyage des pièces à assembler par procédé chimique et juste avant l'opération de pompage de l'air inclus dans le tube, tous ses composants sont traités dans un four à hydrogène à près de 1 000° C, de façon à éliminer les résidus d'oxydes contenus dans les pièces métalliques et remplacer par de l'hydrogène qui sera facilement éliminé lors du stade de pompage, les gaz existant dans les différents composants. Un traitement similaire, mais à plus basse température, est réalisé pour l'enveloppe du tube ainsi que pour les entretoises en mica. Ces précautions sont nécessaires pour obtenir et pour conserver un degré de vide

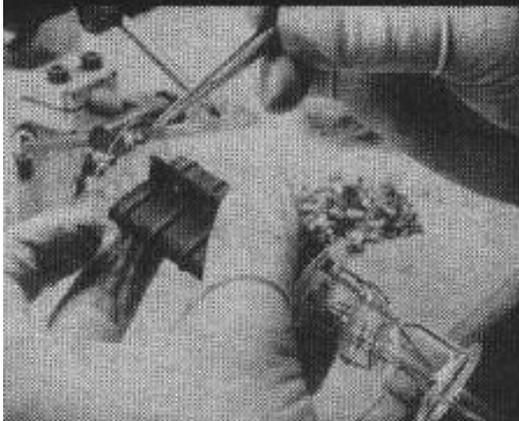


Fig. 7 : Mise en place de l'entretoise supérieure en mica.

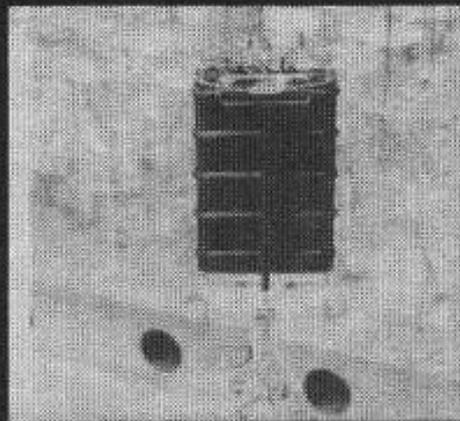


Fig. 8 : Soudure des connexions des électrodes.

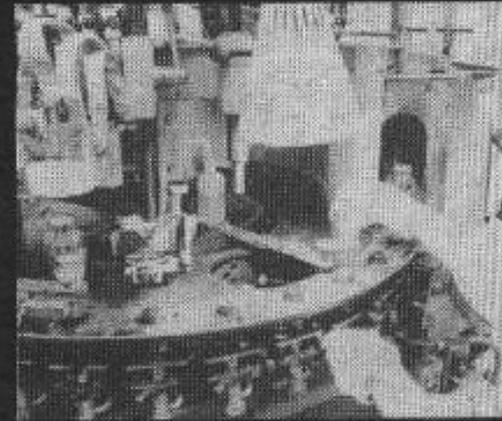


Fig. 9 : Soudure du bulbe sur l'embase en verre.

poussé.

Enfin, la qualité du tube reste étroitement liée au savoir-faire, à la longue expérience des ouvriers spécialisés de la chaîne de montage, chaque poste possédant un manuel très détaillé sur les opérations à effectuer, telles que celles décrites ci-après (39).

La « fondation » du tube est constituée de l'embase de verre et des tiges métalliques scellées la traversant. Elle est réalisée par opérations successives. Une pièce de verre de forme tubulaire mesurant approximativement 15,2 mm de diamètre et 38,1 mm de longueur est chauffée jusqu'à un état de souplesse donnée, ce qui permet de passer aux stades suivants. A une extrémité une lame évasée déforme le verre, créant la future zone de scellement avec le bulbe, de l'autre le verre est pressé autour des 4 supports en « dumet » traversant la cloison ainsi formée et servant aux connexions électriques du filament, de la grille et de la plaque. Ensuite, deux tiges plus robustes en nickel servant de support à la plaque sont scellées. Enfin, une autre pièce tubulaire en verre mesurant approximativement 50,8 mm est scellée sur l'embase de verre pour rendre possible le pompage de l'air. Des opérations de recuisson du verre réduisent les tensions mécaniques internes créées lors de l'usi-

nage du verre. En dernier lieu, les connexions sont pliées dans une presse selon une géométrie précise (fig. 1).

La seconde étape est l'assemblage du filament. Le long et étroit ruban enrobé de carbonate est coupé et l'enrobage est retiré délicatement aux extrémités inférieures. Le ruban est ensuite plié en double « M » sur un gabarit (fig. 2). Les 5 extrémités inférieures sont maintenues et soudées sur des tiges crochetées en nickel, deux d'entre elles étant reliées aux connexions de sortie de l'embase (fig. 3). Les tiges crochetées sont alignées grâce à des œillets placés sur le disque-entretoise inférieur en mica préalablement mis en place sur l'« arbre » placé sur l'embase (voir à nouveau la fig. 3).

Le disque en mica est saupoudré d'oxyde de magnésium de façon à réduire les fuites électriques, ce qui lui confère une couleur blanchâtre. Deux trous supplémentaires percés dans le disque en mica servent à l'alignement des grilles et assurent la conservation d'une bonne géométrie grille/filament. Après l'opération de bobinage, la grille en fil de molybdène en forme d'échelle à pas constant est mise en place et fixée sur le support de l'embase à l'aide de soudure par points (fig. 4). La plaque peut alors être montée pour recouvrir

les autres électrodes. Elle est mise en place délicatement par coulissage sur ses deux tiges puis fixée par soudure par points (fig. 6). Chaque plaque fait l'objet de contrôles rigoureux concernant ses tolérances de fabrication, avant et après montage. La dernière touche de finition est donnée en coiffant les électrodes du disque-entretoise en mica supérieur (fig. 7) de façon à renforcer la stabilité de la géométrie des électrodes. Le getter est ensuite soudé. A ce stade, le tube est « créé » et prêt pour les opérations de scellement et de pompage (fig. 8). Le bulbe est alors scellé sur l'embase. Les deux parties sont chauffées à l'endroit de leur jonction et sont scellées lorsqu'elles atteignent un état pâteux et légèrement ramolli bien déterminé. Le tube, relié à la pompe à vide par une petite valve tubulaire est vidé lentement de l'air qu'il contient grâce à une série de stations de pompage rotatives (fig. 9) (40).

La dernière étape consiste à chauffer toutes les électrodes par induction haute fréquence (fig. 10), ce qui produit un dégagement de gaz, d'activer le filament (ce qui transforme le carbonate de baryum en oxyde de baryum) et d'enflammer le getter pour que celui-ci absorbe tous les gaz résiduels. L'intérieur du tube se trouve ainsi sous un degré de

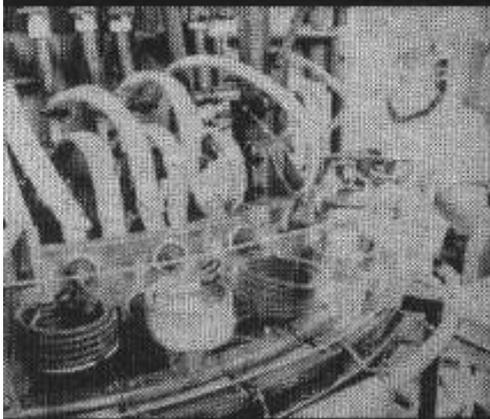


Fig. 10 : Pompage de l'air à l'intérieur du tube.

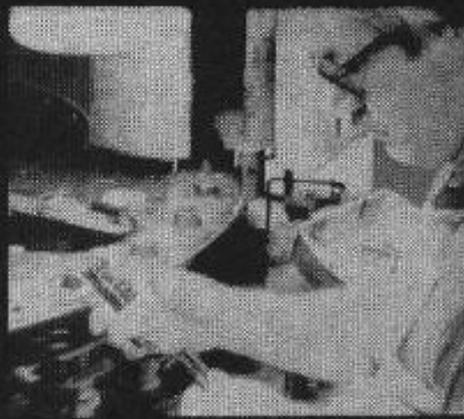


Fig. 11 : Assemblage de l'embase.

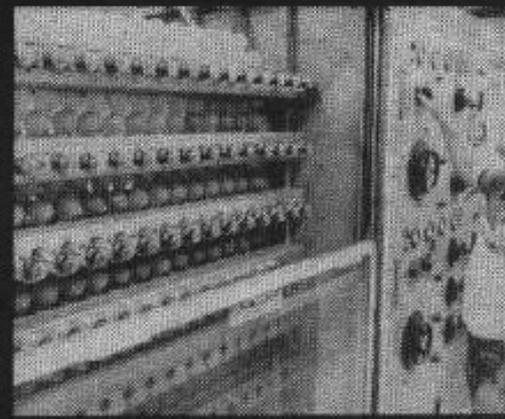


Fig. 12 : Opération de pré-vieillessement des tubes

vide adéquat. Il ne reste plus qu'à fixer l'embase en bakélite à ergot supportant les 4 broches au standard américain. La fixation est assurée par un joint de scellement au coefficient de dilatation étudié. Les broches sont réalisées en bronze étamé (fig. 11).

Les tubes montés sont ensuite mis en place sur des racks et subissent un vieillissement dont le cycle dure plusieurs heures, ce qui permet de stabiliser les différents paramètres du tube (fig. 12).

Chaque 300 B est ensuite testé individuellement sur un banc de mesure (fig. 13) afin de vérifier si les caractéristiques sont conformes aux spécifications (41). Seuls les modèles conformes sont sérigraphiés du logo Western Electric et emballés (fig. 14).

IV. Conclusion

On ne peut s'empêcher de s'interroger sur le destin lorsqu'on contemple la longue et riche histoire des tubes électroniques chez Western Electric. Née en 1913 avec le code A, une triode destinée à l'amplification de la voix humaine sur les lignes du téléphone, cette histoire s'achève exactement 75 ans plus tard avec le code 300 B, une autre triode destinée cette fois à l'amplification basse fréquence de qualité.

Bien des amateurs du tube audio seront attristés par cette disparition. Ils savent aussi ce qu'ils doivent à tous les ingénieurs de l'AT&T, à tous les pionniers de l'électronique, à tous les ouvriers spécialisés qui, grâce à cette grande passion pour des produits perfectionnés ont fait du tube à vide un composant-clé des amplificateurs de haute fidélité. Jamais un tube de réception n'a atteint un tel standard de qualité.

(1) La 300 A a été mise en production en 1935 et la WE 300 B en 1938. La seule différence entre les deux modèles tient au positionnement de l'ergot situé sur le côté de l'embase en bakélite de façon à

accommoder un standard différent (UX pour la 300 A, WE pour la 300 B).

(2) Ce qui correspond à 50 ans de production continue. Cela démontre l'étonnante longévité du tube triode et explique pourquoi de nombreux audiophiles dans le monde refusent toujours d'abandonner les tubes pour leurs applications en haute-fidélité. A titre d'exemple, le record de longévité a été atteint par le tube (« cacahuète ») 215 A qui, conçu en 1919, a été fabriqué pour l'US Navy jusqu'en 1976. Les descendants de la 211 sont toujours en fabrication en Chine (VT4C).

(3) Alexandre G. Bell n'a pas été le premier à comprendre l'importance de la recherche scientifique liée à son application pratique. Cet honneur semble revenir à Thomas G. Edison, le « sorcier de Menlo Park » qui a fondé le premier laboratoire industriel digne de ce nom.



Fig. 13 : Test individuel des tubes.

(4) Bell s'était engagé dans une voie difficile, celle de maîtriser de nombreuses disciplines comme l'acoustique (son, audition, parole), l'électricité (transmissions), la mécanique et la science des matériaux (métallurgie, chimie).

(5) Cette politique fut concrétisée lors de l'arrivée du Dr Hammond V. Hayes, un physicien formé à Harvard et au M.I.T. qui prit la tête de l'American Mechanical Department, l'ancêtre de la Bell Telephone Laboratories (fondée en 1925).

(6) Western Electric fut acquise en 1881 à Western Union à la suite d'une action en justice d'AT&T contre Western Union. En 1905, Western Electric s'installait au centre de New York, au 463 West Street.

(7) Bell Laboratories appartenait à 50 % à AT&T et à 50 % à Western Electric. Ce partage inhabituel était peut-être lié au fait qu'à sa naissance Bell Labs n'était rien de plus que la direction technique de Western Electric.

(8) Cette organisation fut conservée jusque dans les années 80 quand le géant AT&T fut mis en pièces par la justice américaine.

(9) La concentration des efforts dans les communications avait aussi pour origine des problèmes juridiques car on craignait que ce géant n'abuse de sa situation de monopole.

(10) Les désinvestissements dans le domaine audio ont été les suivants :

1925 : vente du phonographe à Victor.
1928 : vente des studios de radio WEAFA à RCA (ils furent baptisés NBC).

1937 : ERPI (équipements cinéma parlant) devient All Technical Products Inc.
1949 : vente de lignes de fabrication d'équipements pour l'enregistrement et la reproduction sonore à Altec Lansing Co.

1956 : vente de Westrex Co. à Litton Industries.

(11) Formé à l'Université de Chicago, dans le secteur des « physiciens nouveaux », dirigé par le Professeur Milikan (qui mesura pour la première fois la charge d'un électron).

(12) De Forest inventa la triode baptisée « Audion » en 1906 par insertion d'une grille de commande dans la diode de Fleming (1904). Durant plusieurs années, son application principale fut la détection haute fréquence et ses performances médiocres. C'est seulement en 1912 que De Forest présenta son montage d'amplification à basse fréquence.

(13) Plusieurs douzaines de tubes devant être disposés en série dans les lignes du téléphone transcontinental, ils devaient être particulièrement fiables.

(14) Il dut commander une pompe à vide à l'époque seulement disponible chez Gaede en Allemagne.

(15) Il est intéressant de noter que, même si le Professeur Wehnelt décrivait le filament enrobé d'oxyde dès 1903, Western Electric fut le seul fabricant de tubes à l'utiliser systématiquement de nombreuses années durant en raison de sa supériorité.

Un autre résultat des recherches de la Western Electric fut le brevet Nicholson de 1915 sur la « cathode équipotentielle » (chauffage indirect) qui ne trouva son application qu'après 1930.

(16) A retenir les noms de H.V. Hartley et de E.H. Colpitts. Un autre nom moins connu est celui de H.J. Van der Bijl qui, en 1914, fut à l'origine des équations utilisées pour la conception des tubes chez Western Electric, lesquelles furent réunies dans un ouvrage de référence publié en 1920.

(17) Le manque de place ne permet malheureusement pas de faire mention de l'activité importante de Western Electric en matière de tubes de transmission.

(18) La production des tubes à vide VT-1 et VT-2 aux ateliers du 463 West Street était de moins de 200 par semaine en 1917. Elle passa à plus de 20 000 par semaine en novembre 1918.

(19) Les 5 000 heures de durée de vie moyenne d'un tube de réception grand public sont peu en comparaison. AT&T était beaucoup plus concerné par la durée de vie de ses équipements que par le coût de revient de ses produits. De tels efforts auraient conduit à la faillite les concurrents RCA ou General Electric. Pour les câbles de téléphone sous-marins, le tube 175 HQ, a eu une durée de vie réelle dépassant 190 000 heures (22 ans !).

(20) Ce furent les premiers tubes chez Western Electric à utiliser la cathode à chauffage indirect de Nicholson (244 A, 262 A).

(21) La 242 A et son prédécesseur, la 211 E ont été les chevaux de bataille des applications du cinéma parlant et de la sonorisation. Ces tubes étaient utilisés en sortie push-pull sur les amplificateurs WE 43 A et furent installés dans plus de 15 000 salles de spectacle.

(22) Le gain disponible aux fréquences élevées était limité par les capacités parasites inter-électrodes et par l'inductance parasite, ainsi que par la vitesse de transfert des électrons dans le tube.

(23) Comparé à la classique 102 F, la 310 A possédait un gain de 28 dB supérieur, elle pouvait être utilisée en H.F. et sa sensibilité grille était trois fois plus élevée.

(24) Une version améliorée, la 6 AK5, fut produite en très large quantité lors de la seconde guerre mondiale. Ce tube devint la 408 A après la guerre. Bell Laboratory perfectionna également une invention anglaise, le magnétron.

(25) Cette technique fut poussée jusqu'à ses dernières limites avec la 416 A travaillant à 4 GHz, une triode sur laquelle l'espace grille-cathode était de 15 μm seulement.

(26) Les caractéristiques du tube sont dépendantes de la géométrie des électrodes. Un pas de grille moins serré ou qui se trouve plus proche de la plaque réduit le coefficient d'amplification.

(27) Le degré de vide est de l'ordre de 10^{-6} mm de mercure.

(28) Les cathodes travaillent aux environs de 750° C. Les plaques entre 350° C et plus de 600° C. Le bulbe doit, pour des questions de durée de vie, ne pas travailler au-dessus de 175° C et sous 100° C environ des conditions optimales.

(29) Le tube à vide a pour ancêtre direct la lampe à incandescence. La forme sphérique des premiers bulbes des lampes Audion était due au simple fait que leur fabricant, Mc Candless utilisait des ampoules électriques pour voiture immédiatement disponibles en stock.

(30) L'apparente supériorité des bulbes Western Electric ne semble pas être due à une « recette secrète » au niveau de la composition du verre. Elle semble provenir plutôt des soins apportés aux méthodes de recuisson du verre de façon à supprimer les tensions mécaniques internes produites lors des opérations de fabrication.

(31) Le « Dumet » fut introduit en 1911 en tant que remplaçant du platine pour le passage des électrodes à travers les bulbes des lampes électriques. Il est réalisé par l'alliage de 42 % de ferro-nickel dans un tube de cuivre muni d'une enveloppe intermédiaire en bronze. Le cuivre représente environ 25 % du poids total du conducteur.

(32) Le nickel et ses alliages trouvent de nombreuses applications, compte tenu surtout de son point de fusion élevé (1 455° C). Le gaz contenu dans le métal peut être extirpé facilement et ce métal résiste très bien à la corrosion. Il est ductile, facile à former et à souder.

(33) La carbonisation du nickel consiste à le chauffer à 925° C dans un four sous atmosphère d'hydrocarbure. Pour la majorité des applications pratiques, le nickel carbonisé a été remplacé par un métal ferreux nickelé et plus récemment, par du fer recouvert d'aluminium sur un support en cuivre (General Electric). Ce dernier prend une couleur noire sous 700° C sous vide et n'a plus besoin de subir un traitement de carbonisation.

Dans les tubes de haute puissance dans lesquels les plaques travaillent à 800° C ou plus, on utilise des matériaux réfractaires comme le graphite, le tantale ou le molybdène.

(34) Pour la plupart des tubes de réception, l'alliage du nickel avec le manganèse, le chrome ou le molybdène (améliorant le comportement en température) est utilisé pour la grille. Pour éviter un risque d'émission secondaire à partir de cette grille, le fil servant à bobiner la grille est parfois recouvert de platine ou d'or (le platine a la propriété d'absorber des quantités considérables de thorium ou de baryum qui peuvent s'échapper de la cathode). Pour des températures encore plus élevées, la grille est constituée de molybdène ou de tungstène pur, dont les points de fusion respectifs sont de 2 625° C et de 3 370° C.

(35) Les terres alcalines utilisées sont le

baryum, le calcium, le strontium et le thorium. Elles sont généralement utilisées sous la forme de doubles ou triples carbonates qui sont chauffés au dernier stade de fabrication du tube pour produire les oxydes requis. Les doubles carbonates sont ceux du baryum (la majorité) et du strontium. Les triples carbonates contiennent en addition un faible pourcentage de carbonate de calcium. De son côté, le thorium est le plus souvent utilisé avec les filaments en tungstène. A l'origine, Western Electric utilisait un filament en alliage de platine avec l'enrobage de carbonates. Plus tard, il fut constaté que des alliages spéciaux au nickel pouvaient être utilisés au lieu de platine. Ces alliages étaient constitués de nickel très pur, sous forme de poudre, qui était mélangé à un très faible pourcentage, 0,01 à 0,02 %, d'agents réducteurs (comme le tungstène ou le zirconium). Le rôle de ces agents était d'« activer » l'oxyde de baryum et d'améliorer les possibilités de la couche émissive d'électrons.

(36) Sur un filament, la couche émissive a une épaisseur d'environ entre 25 μm , soit le 1/5^e de l'épaisseur du filament. Elle est appliquée par bains et séchages successifs.

(37) En principe, le getter agit comme une pompe à vide auxiliaire travaillant en deux étapes. En premier, il abaisse la pression résiduelle de 10^{-4} à 10^{-6} mm de mercure. Ensuite, il assure une conservation de ce degré de vide pendant toute la durée de vie du tube. Le baryum, le strontium, le thorium et le cérium présentent de grandes affinités avec les gaz s'échappant des électrodes des tubes (oxygène, oxyde de carbone, dioxyde de carbone, hydrogène et nitrogène) et sont utilisés comme getter.

(38) Bien que des taches d'huile soient faciles à retirer par nettoyage, des résidus peuvent rester à l'état microscopique sur les surfaces poreuses et s'échapper plus tard à l'intérieur du tube. De ce fait, les tubes pour applications en VHF étaient montés en zone blanche, hors poussières.

(39) La complexité du montage et l'ensemble du savoir-faire permet de mieux comprendre le prix élevé de la 300 B.

(40) Pour les petits tubes de réception, ces deux opérations sont combinées dans une même machine appelée « Sealex » (seal-in-exhaust : scellement et échappement).

(41) Pour une tension plaque E_p de 300 V et une tension grille E_c de -58 V, le tube doit présenter un courant plaque I_p de 62 mA minimum.

L'auteur remercie AT&T Technologies Inc. pour avoir organisé la visite de ses installations et le service des archives d'AT&T pour son aimable fourniture de documents.

Il remercie particulièrement MM. Dobson, chef de produits, et Magers, ingénieur en chef, pour leur concours.

**Page non
disponible**

La CAO en électroacoustique

« Calculs préliminaires »



Toute naissance d'un haut-parleur, d'une enceinte acoustique est précédée par l'élaboration d'un cahier des charges.

C'est à partir du cahier des charges que seront décidées les grandes orientations du produit final.

Les calculs préliminaires ont pour but de valider le bien fondé du cahier des charges.

A part quelques grands « sorciers », la majorité des concepteurs de haut-parleurs et enceintes acoustiques commencent à élaborer un cahier des charges avant la naissance d'un de leurs produits. Ce cahier des charges sera une simple énumération des caractéristiques recherchées. Parfois cette phase sera accompagnée de quelques vérifications scientifiques. Tout laboratoire équipé d'un ordinateur suffisamment puissant, de logiciels adéquats, pourra aller plus en avant. En effet, le terrain a été largement défriché. Il est désormais possible de valider de manière précise les grandes lignes d'un cahier des charges. Ainsi, avant le début de toute phase active de développement, l'ingénieur sait-il qu'il n'avance pas vers une fausse piste.

De très nombreux paramètres peuvent être déterminés de manière très précise avant toute ébauche de maquette. Parmi les plus connus, citons :

- la fréquence de coupure basse à -3 dB,
- le rendement d'un transducteur, d'une enceinte,
- la fréquence de résonance,
- la fréquence d'accord (dans le cas d'une enceinte),
- l'étendue de la bande passante,
- la courbe d'impédance,
- la fréquence de coupure optimum (cas d'une enceinte).

Tous ces paramètres sont régis par des phénomènes connus, des modélisations mathématiques ont été affinées au fil du temps. Toutes ces applications peuvent être traitées par informatique. Ainsi les temps de calculs sont-ils très brefs et de nombreuses variantes peuvent-elles être examinées.

En ce qui concerne les calculs préliminaires, les deux aspects les plus connus de nos jours sont le calcul des paramètres électromécano-acoustiques selon la méthode A.N. Thiele et ses dérivés. En second lieu, nous note-

rons les recherches effectuées par R.H. Small en ce qui concerne la vulgarisation des calculs de charges acoustiques pour haut-parleur. A ces deux aspects, il convient de noter les calculs de base de l'acoustique, de l'électrotechnique, liés à quelques notions de mécanique vibratoire.

Les possibilités de l'ordinateur

Les possibilités offertes par l'informatique dans la phase des calculs préliminaires se divisent en trois grandes familles :

- les programmes de calculs de paramètres pré-définis,
- les programmes d'analyse de circuit,
- les programmes d'analyse de systèmes linéaires.

Calculs des paramètres pré-définis

Les programmes de calcul des paramètres pré-définis sont simples à expliquer. On placera dans

cette catégorie tous les programmes spécialisés dans le calcul d'un paramètre précis. Ces programmes sont généralement peu gourmands en espace mémoire du calculateur hôte. Il s'agira de programmes permettant de calculer les paramètres électro-mécano-acoustiques d'un haut-parleur, de calculer des charges acoustiques simples pour un haut-parleur, d'un circuit de filtrage, etc. Ces programmes sont généralement écrits par leur utilisateur en partant des données éditées dans les livres et la presse spécialisée. Dans le tableau n° 1 est présentée une liste de paramètres électro-mécano-acoustiques d'un haut-parleur de grave calculé par ordinateur en partant de la méthode dite de la masse additionnelle. Grâce à trois mesures très simples, il est possible par calcul de connaître les paramètres de base d'un transducteur. Il va de soi que la méthode est réservable. Dans ce cas, le choix des résultats recherchés indiquera le diamètre nécessaire du haut-parleur, la raideur des suspensions, le poids de l'équipage mobile, etc. La figure 2 reprend le calcul d'une charge bass-reflex. En a) sont présentés les différents cas de figures, en b) le calcul des événements par coefficient déterminé, en c) la représentation graphique du résultat. Ces différents calculs sont réalisables pour les enceintes closes, bass-reflex, actives-passives et symétriques. Il est ainsi possible de déterminer par avance le volume d'une enceinte, sa fréquence de coupure, son accord, etc.

La figure 3 va dans la même voie mais encore plus loin. Dans ce cas, le programme a été conçu de telle manière que chaque paramètre est appelé par une clé de fonction du clavier de l'ordinateur. A chaque changement d'un paramètre, tous les calculs sont automatiquement refaits.

Le nombre d'informations fourni est beaucoup plus impor-

REFERENCE DU HAUT-PARLEUR=	22 WR 35	
NUMERO DE CODE=		
FREQUENCE DE RESONANCE=	31.6227766017	HZ
RCC	= 6.6	OHMS
QM	= 2.32103541274	
GE	= .603103689925	
BTS	= .478713553878	
MMS	= .00833333333333	kg
CMS	= .00303963550927	mm
RMS	= .713373308255	n
DIAMETRE ACTIF	= .2	m
SURFACE ACTIVE	= .0314159265359	m ²
MAS	= 8.44343197019	kg/m ²
CAS	= 3.E-6	m ⁵ n
VAS	= .421347	m ³
FACTEUR de FORCE (BL)	= 4.25672198172	tm
FACTEUR D ACCELERATION=	510.806637807	
CES=	= .000459905053504	FARAD
RES=	= 25.4	OHMS
LES=	= .0550772289141	HENRY
RENDEMENT	= .0212089492808	O/O
EFFICACITE	= 95.1360579689	dB

Tableau n° 1 :
Liste des paramètres électro-mécano-acoustiques d'un haut-parleur calculés par ordinateur.

S=	10	
VOLUME DE LA BOITE	= .128	m ³
COUPURE F-3dB	= 13.75	HZ
FREQUENCE DE RESONANCE	= 21.45	HZ
S=	11.3	
VOLUME DE LA BOITE	= .0904	m ³
COUPURE F-3dB	= 16.361513226	HZ
FREQUENCE DE RESONANCE	= 21.45	HZ
S=	8	
VOLUME DE LA BOITE	= .064	m ³
COUPURE F-3dB	= 19.4454364826	HZ
FREQUENCE DE RESONANCE	= 21.45	HZ
S=	5.7	
VOLUME DE LA BOITE	= .0456	m ³
COUPURE F-3dB	= 23.036964956	HZ
FREQUENCE DE RESONANCE	= 21.45	HZ
S=	4	
VOLUME DE LA BOITE	= .032	m ³
COUPURE F-3dB	= 27.5	HZ
FREQUENCE DE RESONANCE	= 21.45	HZ
S=	2.8	
VOLUME DE LA BOITE	= .0224	m ³
COUPURE F-3dB	= 32.8687867567	HZ
FREQUENCE DE RESONANCE	= 21.45	HZ
S=	2	
VOLUME DE LA BOITE	= .016	m ³
COUPURE F-3dB	= 38.8908729653	HZ
FREQUENCE DE RESONANCE	= 21.45	HZ
PRINTER (1) / SUITE DU PROGRAMME (2)		

Fig. 2a : Calcul d'une enceinte de type bass-reflex pour différents coefficients de surtension S.

S=	5.7	
DIAMETRE EVENT	..... .05	m
LONGUEUR EVENT	..... .231924287325	m
DIAMETRE EVENT	..... .075	m
LONGUEUR EVENT	..... .540391199687	m
DIAMETRE EVENT	..... .1	m
LONGUEUR EVENT	..... .977194623983	m
DIAMETRE EVENT	..... .15	m
LONGUEUR EVENT	..... 2.23581100997	m
DIAMETRE EVENT	..... .2	m
LONGUEUR EVENT	..... 4.007734453	m

Fig. 2b : Calcul des événements possibles pour un coefficient de surtension de 5,7. Dans ce cas, c'est la première solution qui sera retenue pour de simples raisons métriques.

tant. Il est possible de connaître le déplacement du cône en fonction de la fréquence à une puissance déterminée, la puissance acoustique rayonnée dans ces conditions.

Chacun des exemples montrés en figures 1, 2 et 3 correspond à des sujets figés. Chacun de ces programmes ne sera capable de répondre qu'à une application précise.

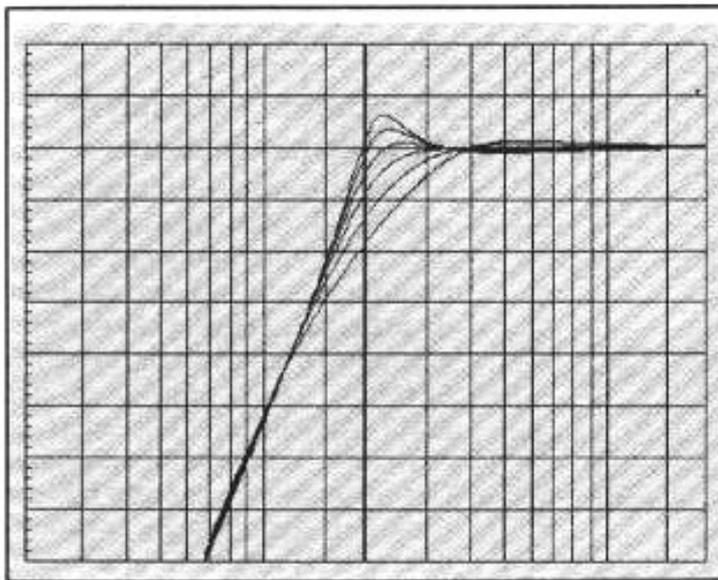


Fig. 2c : Représentation graphique des différents cas de la figure 2a. Il s'agit des courbes amplitude-fréquence pré-déterminées par calcul informatique entre 2 Hz et 200 Hz pour différents coefficients de surtension (16, 11, 8, 5, 7, 4, 2, 8). L'échelle est de 50 décibels.

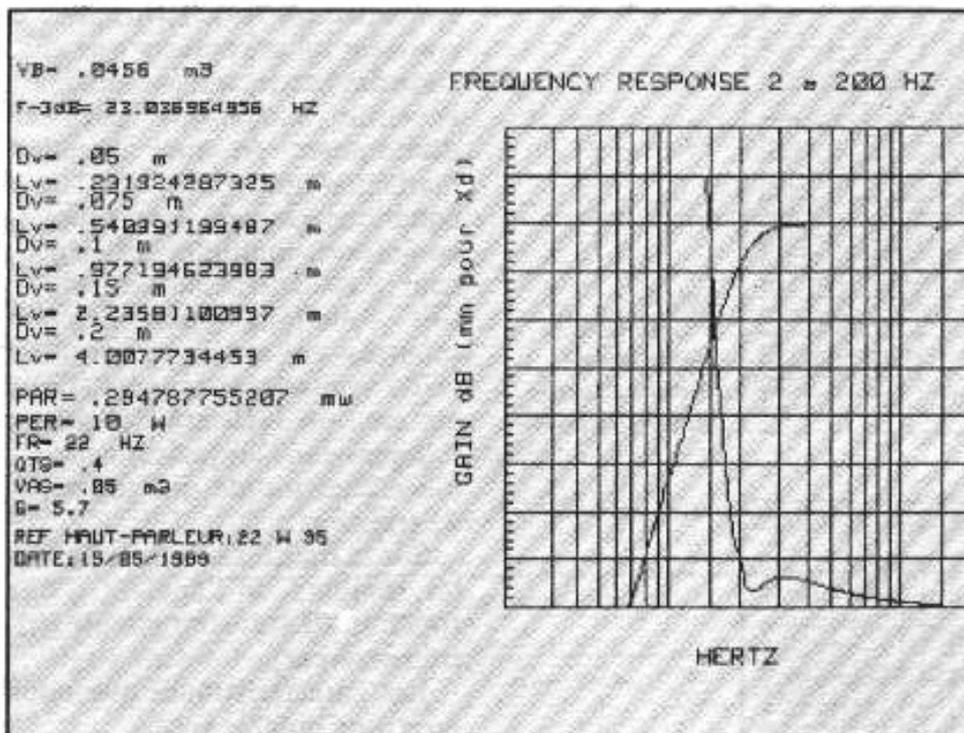


Fig. 3 : Calcul interactif d'une charge de type bass-reflex. VB = volume de la boîte. F-3 dB = coupure basse de l'enceinte à -3 dB. Dv et Lv = diamètre et longueur des différents événements possibles. PAR = puissance acoustique rayonnée. PER = puissance électrique. Sont représentées dans le graphique : a) la courbe amplitude-fréquence, b) la courbe d'élongation de l'équipage mobile.

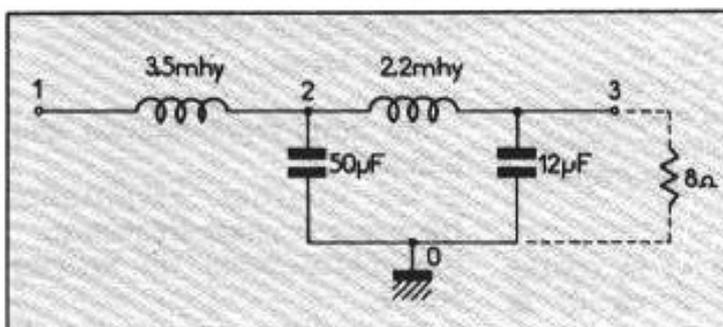


Fig. 4a : Schéma du filtre avec position des nœuds.

Les programmes d'analyse de circuits

Il existe de nos jours des programmes d'analyse de circuits très performants. Il convient de noter que ces derniers nécessitent généralement des espaces mémoire importants et qu'il est tout à fait souhaitable d'être équipé de calculateurs rapides.

Le but de ces programmes est d'analyser des circuits électriques ou électroniques en régime alternatif. L'utilisateur entre le contenu de son circuit dans l'ordinateur par une méthode simple dite des « nœuds ». Exemple : pour un filtre passe-bas à 24 dB par octave, je place

une self de 3,5 mH entre les points 1 et 2, je place une self de 2,2 mH entre les points 2 et 3, je place un condensateur entre les points 2 et 0, un condensateur de 12 µF entre les points 3 et 0, j'entre au point n° 1, je sors au point n° 3. En fait, il s'agit de créer des nœuds électriques entre lesquels sont placés des composants. Une fois le circuit entré, il sera possible de simuler son fonctionnement. Plus besoin de fer à souder et de longues heures pour étudier de nombreux cir-

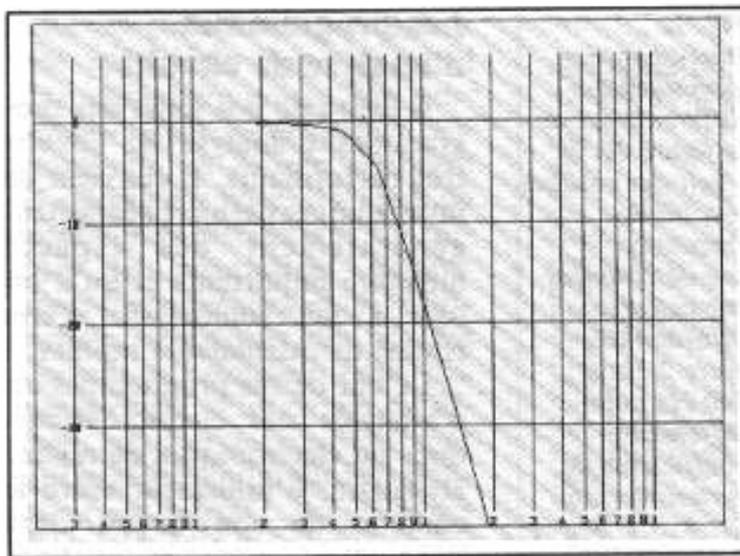


Fig. 4b :
Programme
d'analyse de
circuit. Courbe
amplitude-
fréquence.

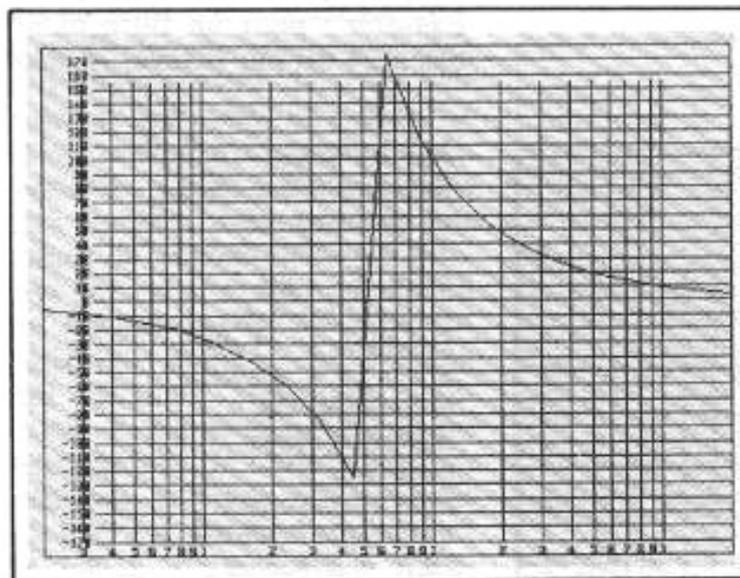


Fig. 4c :
Programme
d'analyse de
circuit. Courbe
phase-fréquence.

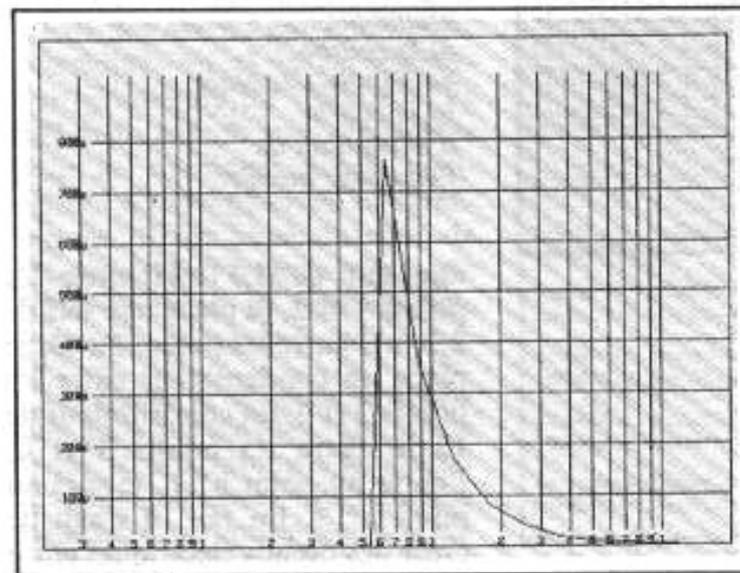


Fig. 4d :
Programme
d'analyse de
circuit. Courbe
temps-fréquence.

cuits, de nombreuses variantes. Sur la figure 4 sont représentés en a) le schéma du circuit étudié, en b) la courbe de réponse issue

de ce circuit, en c) la courbe phase-fréquences et en d) la courbe temps-fréquences. Il ne faut que quelques minutes pour

obtenir les caractéristiques d'un circuit (passif ou actif).

Programmes d'analyse de systèmes linéaires

Ce programme agit comme un puzzle. Il n'est pas nécessaire d'être un champion des mathématiques pour utiliser ce genre de progiciel. Dans le cas des programmes d'analyse de systèmes linéaires, nous passons à une autre dimension. Ici, c'est le royaume des mathématiques. Ces programmes sont en fait des progiciels d'analyse de fonctions de transfert allant du plutôt simple au très compliqué. En fait, il s'agit de fournir à l'ordinateur une formulation mathématique du phénomène étudié pour en connaître les caractéristiques. Il convient de se rappeler que chacune des parties qui compose une enceinte acoustique peut se décomposer en une équation mathématique. Dès lors, ces équations peuvent être simples, complexes, multiples. Elles peuvent être assemblées en blocs. Ces fonctions pourront être montées en série, en parallèle et/ou contre-réactionnées. Dans ces cas, on réalisera des arbres logiques dans lesquels prendront place chacune de nos fonctions de transfert.

Sur la figure 5 sont représentés les résultats de l'analyse d'une fonction de transfert simple (filtre passe-bas).

Les caractéristiques que nous pourrions obtenir sont :

- courbe amplitude-fréquence,
- courbe fréquence-phase,
- réponse impulsionnelle,
- amortissement,
- diagramme de Nyquist,
- root locus,
- etc.

Sur notre représentation sont indiqués :

- a) les courbes amplitude-fréquence et phase-fréquence,
- b) l'amortissement du système étudié,
- c) la stabilité par le diagramme de Nyquist.

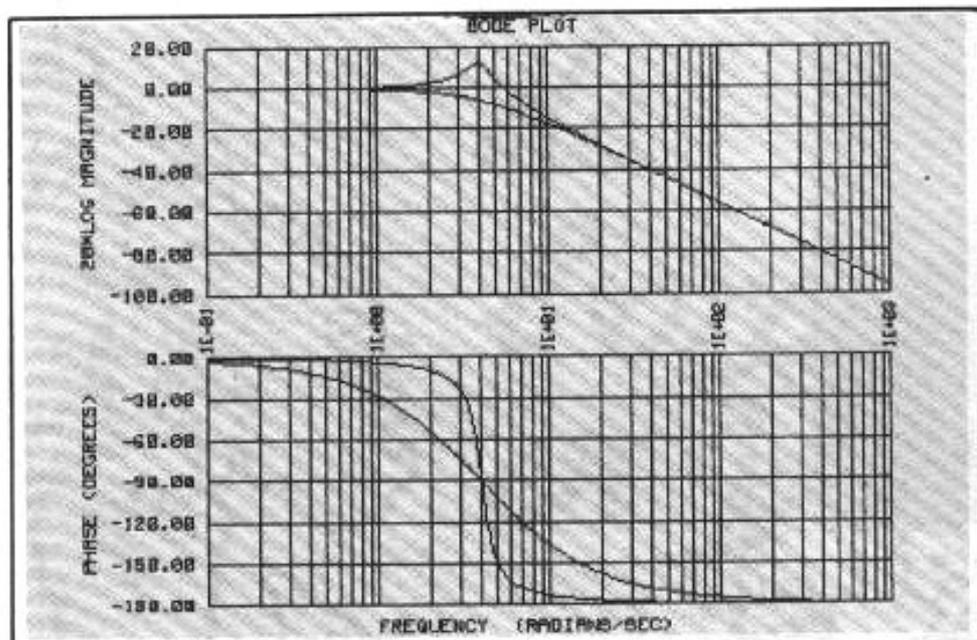


Fig. 5a : Analyse de systèmes linéaires. Diagramme de Bode d'un filtre passe-bas. a) Courbe amplitude-fréquence. b) Courbe phase-fréquence. Simulation de 2 degrés d'amortissement (ξ).

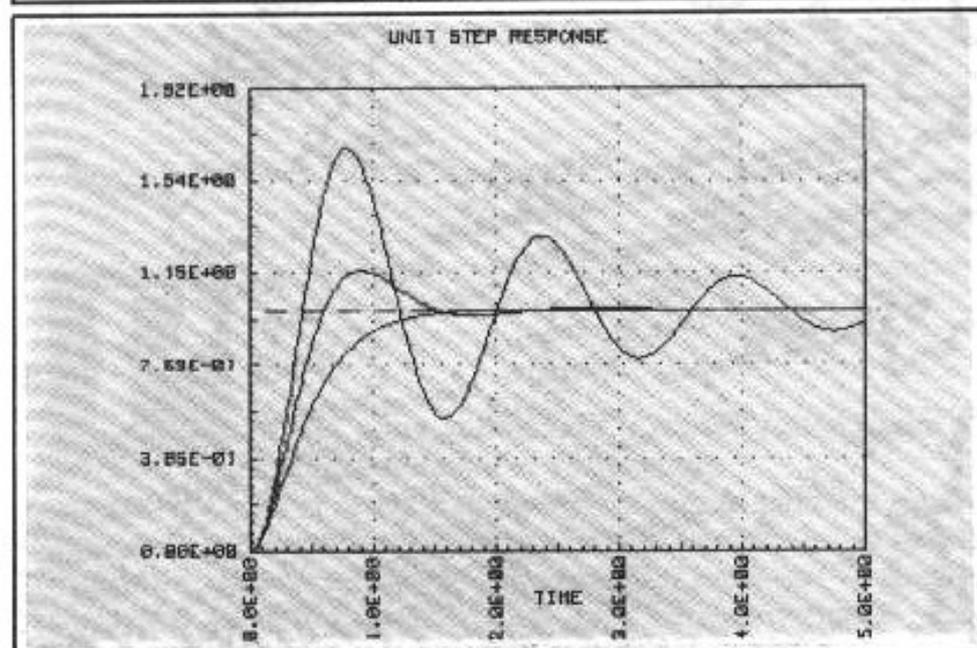


Fig. 5b : Analyse de systèmes linéaires. Réponse à un échelon unitaire : amortissement. Simulation de 3 degrés d'amortissement du circuit (1, 4, 8).

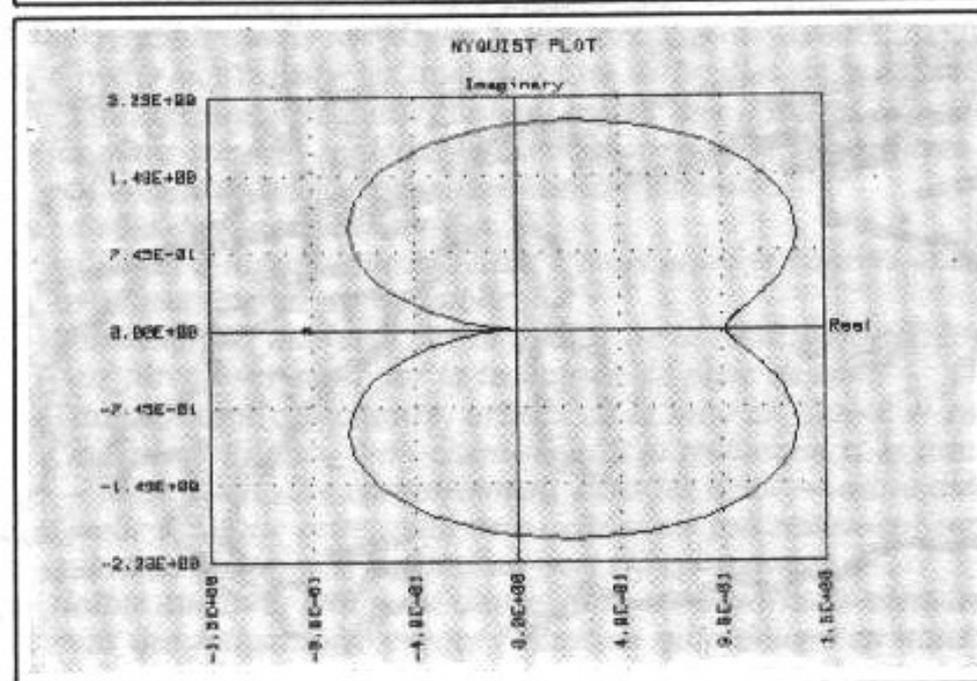


Fig. 5c : Analyse de systèmes linéaires. Diagramme de Nyquist. Le diagramme de Nyquist procure de précieuses informations quant à la stabilité d'un système.

Conclusion

Il est quasi-impossible en si peu de lignes de décrire les possibilités qui s'offrent aujourd'hui au concepteur de systèmes électro-acoustiques. Toutefois, nous avons pu en apercevoir les trois grandes lignes. Lors de la réalisation d'un haut-parleur, d'une enceinte acoustique, le concepteur veut toujours aller vite. C'est une erreur grossière car la phase des calculs préliminaires est très importante. Elle influence énormément le bon déroulement de la suite des opérations. Beaucoup d'erreurs pourront être évitées si cette phase est menée à bien. Dans le prochain article, nous étudierons les mesures faites ou assistées par ordinateur.

**Page non
disponible**



de l'oreille en plus

P

our qui aime la musique, l'œuvre jouée ouvre à la pensée d'un auteur, amène à un parcours sensible et foisonnant, comme si l'idée et le style du compositeur, la manière de l'interprète devaient l'emporter sur la sensualité des timbres ou la restitution instrumentale. Pourtant, de plus en plus nombreux sont ceux qui — sans se départir de l'intérêt musical — cherchent les belles sonorités, les bons enregistrements. Le compact-disque, en repoussant le bruit de fond, en rendant moins nécessaire la compression de dynamique inhérente au disque noir, a remis en évidence les qualités et les difficultés de la captation microphonique. Certains enregistrements sonnent mieux que d'autres : la partition y reste lisible, les plans sonores se détachent, les nuances sont suivies avec exactitude, et l'ensemble baigne dans une lumière aérienne. Le rôle de l'ingénieur du son, au fur et à mesure que se réduit l'écart entre le concert et son double domestique, est mieux perçu par le public. L'audiophile, intéressé par la qualité de la restitution stéréophonique, l'est forcément aussi par la technique de prise de son. Transpositeur d'orchestre, artisan de la mise en espace et en nuances du jeu instrumental, l'ingénieur du son, à mi-chemin entre la technique et la musique — ce qui veut dire complètement dans les deux — est le médiateur de son plaisir. Quelle est donc cette maîtrise — elle n'est pas seulement technologique — qui nous laisse — à la fin d'un bon enregistrement — flotter quelques temps au dessus d'un sol désormais silencieux, mais qui fait sourdre encore l'émotion qu'a délivré en nous le pouvoir des sons ?

2. L'écoute spatiale et ses mouvements

Le champ auditif, rappelons-le, est hétérogène : la zone écoutée, fusionnée par « l'attention », va du minimum d'angle auditif MAA (2° , frontalement) jusqu'au 60° du fameux « cône de présence » nommé par Von Békésy. Ce zoom psycho-physiologique (1) institue une **centration auditive** — comme le regard au milieu du champ visuel — **claire** (parce que fusionnée), **distincte** (parce que corticalisée) et, ajoutons-le, **améliorée** en ce qu'elle bénéficie du BMLD (Binaural Masking Level Difference), c'est-à-dire du **démasquage** (meilleure détection, moindre recouvrement) et de l'ILD (Intelligence Level Difference), c'est-à-dire de l'**écoute intelligente** qui, sans cesser d'étouffer les sons adjacents (bruits, réverbération) exhausse le son sélectionné d'une précision accrue. Le détachement *figure sur fond* — si communément admis pour la vision — pourrait bien s'appliquer aussi à l'audition : la mémoire auditive vient conforter la figure perçue d'un savoir ancien et consolidant.

Aidée de la vue, l'**écoute zonale** investit donc une région de l'espace subjectif, laissant les autres dans l'ombre (2). Le repérage, la détection est certes omnidirectionnelle, instantanée, mais l'**écoute analytique** est sectorielle, centrée, intentionnelle. Et nécessairement une marginalisation s'impose : si les sons non centrés par l'attention ne peuvent être traités par la conscience, ils restent néanmoins l'objet d'une surveillance — à **bas bruit** — probablement sous-corticale, la capacité du cortex auditif étant limitée et concentrée sur l'écoute proprement dite. Il est de la sorte possible d'évoquer les mouvements « stéthoscopiques » de l'attention auditive.

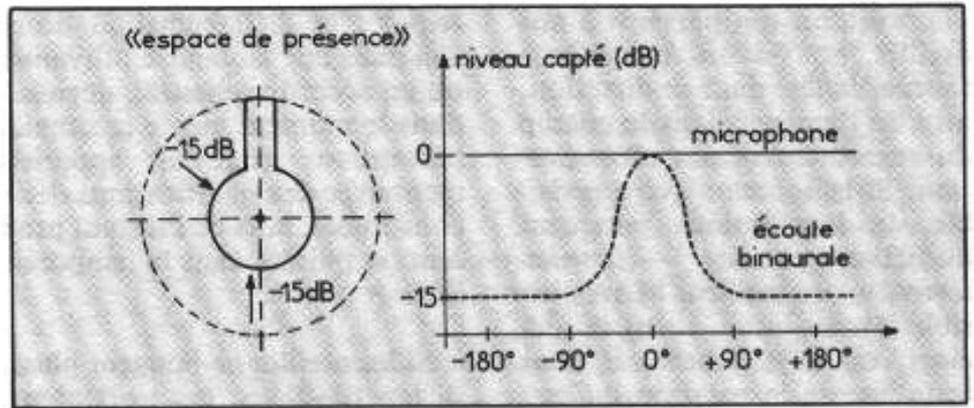


Fig. 2 : a) *Ecoute humaine* : les sons non situés dans l'espace de présence sont inhibés d'une quinzaine de dB. b) *Ecoute microphonique (omni)*. Les sons captés viennent de toutes les directions.

• Ils sont de deux ordres : volontaires ou automatiques.

Les mouvements volontaires : visée-saisie, centration, panoramique, relaxation.

Les mouvements automatiques : excursion suivie de centration, excursion aller et retour, excursion d'occlusion (bruit gênant, temporairement désactivé). Notons que ces mouvements ont un corollaire obligé : la stabilisation du champ auditif (3). A l'origine, l'ouïe a la faculté de prévenir les dangers, de noter les modifications infinies du donné sonore (silence soudain, bruit imprévu), ne serait-ce que pour « réécrire » la mémoire spatiale immédiate, la présence vivante au monde. Le système auditif — comme le système visuel — instaure la double question : **où ?**, **quoi ?** Les étages sous-corticaux (anciens dans la phylogénèse) se chargeraient de détecter la position du stimulus, tandis que les étages

corticaux (plus « récents ») seraient dévolus à la reconnaissance de la forme acoustique incidente (4).

(1) Il y a au moins deux niveaux dans l'attention auditive : l'un **périphérique** concerne la physiologie, l'accommodation des capteurs, l'autre **central** fait appel à des mécanismes cognitifs, ou à la mémoire auditive.

(2) R. Condamines, derrière Békésy, inscrit un cône de vigilance, mobile, dans et hors d'un cône plus vaste, appelé « espace de présence », espace fixe et frontal. Cf. « Stéréophonie » par R. Condamines, Masson, 1978 (p. 27). Il semble que l'on puisse dissocier la centration auditive (cône de vigilance) d'avec le cône de présence, validé par la précision variable du MAA.

(3) Cf. « Comment l'entendez-vous ? » in L'Audiophile n° 5, p. 120.

(4) Cf. « Audition » de Pierre Buser et Michel Imbert, chez Hermann, Paris, 1987, p. 305 et suivantes.

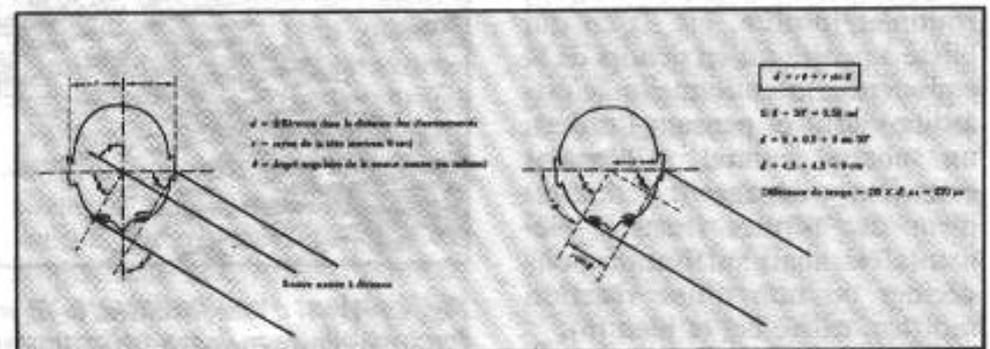


Fig. 3 : La réaction d'orientation suppose une évaluation (même sommaire) de la rotation v à accomplir.

Lorsqu'un son parvient à nos oreilles, nous avons tendance à tourner la tête dans sa direction, afin de l'amener dans le champ du regard : *réaction d'orientation*. Si la source s'avère invisible, la localisation, purement auditive, profite — *frontalement* — du meilleur MAA possible (5). Si le son, furtif et succinct, est déjà achevé, il nous reste encore la rotation du cou — sensation proprioceptive — comme direction et trace de l'événement trop bref. Enfin, si le son identifié et reconnu persiste, il pourra devenir : a) une nouvelle cible (fixation) ; b) un objet caduc (excursion aller et retour) ; c) un bruit gênant dont il faut momentanément se protéger (compression, occlusion) ; d) un objet à surveiller (par intermittence) ou à guetter (alerte continue) ; e) un élément musical (concert).

- Les mouvements involontaires sont donc le plus souvent déclenchés par l'irruption inattendue d'un stimulus périphérique, situé hors de la zone écoutée. Ceci suppose *l'émergence et la localisation* de l'intrus. Les coordonnées spatiales de la future (quelques dizaines de millisecondes) cible sont transformées en durée d'impulsion proportionnelle à l'excentricité du stimulus, durée qui détermine à son tour l'amplitude de la saccade céphalique, soit la rotation adéquate de la tête vers la source. Auparavant, le signal aura été sommairement analysé (prévisible/imprévisible, inquiétant/sans danger, routinier/insolite, etc...) ce qui laisse à penser qu'en dehors de la conscience intentionnelle (c'est-à-dire visant et pensant l'objet), un substrat animal, faiblement conscient, dégagant continûment des formes frustrées, élémentaires, mais suffisantes pour décider ou non d'une réaction motrice, existe bel et bien (6).

- Les mouvements volontaires, visant et analysant l'objet, supposent au contraire un *pré-*

requis : la différenciation d'un son dans une ambiance bruyante ou un accord orchestral, dépasse dans le moment même la simple perception, exige un appariement avec des significations déjà constituées, hors de l'instant présent, et puisées dans la temporalité.

Si les oreilles ne bougent plus, si les pavillons ne s'orientent plus, les mouvements de l'attention auditive se montrent tout de même. Outre la réaction d'orientation (audito-visuelle) déjà décrite, ou même les petits mouvements de tête utiles à la localisation (7), on en voit trace dans la *synergie résiduelle* œil/oreille (muscles de yeux, muscles de la chaîne des osselets sont couplés par un mécanisme subconscient) induite par l'accommodation latérale. C'est dire si l'écoute oblique « consomme » plus de matière grise : les yeux se lèvent pour se débarrasser du champ visuel frontal trop encombré. Autre variante, les yeux déconvergent (discrètement) pour éliminer l'objet visuel fusionné, et céder ainsi du neurone à l'ouïe (8). Variante ultime : une sac-

cade oculaire, quelle que soit sa direction, pour peu qu'elle dure 20 à 50 millisecondes, efface le champ visuel (elle le neutralise pendant toute la durée de la rotation saccadique) et commute ainsi le néo-cortex (frontal) sur une tâche rapide et précise : la localisation/émergence d'une image auditive. Et si les 50 millisecondes n'y suffisent, rompant toute discrétion, s'enclenche alors la réaction d'orientation.

La capacité de *détecter, localiser, identifier* fait la force du sens auditif. *Ecouter*, c'est sans le même mouvement, discriminer, situer, clarifier la zone captée, amortir les autres et, à tout le moins, les marginaliser. Mais avant d'écouter, il faut d'abord entendre.

3. Dégagement, émergence

Le monde contemporain nous propose un milieu aérien quelque peu surchargé, où les sons faibles disparaissent sous les sons forts, où la rumeur sourde vient masquer les sons légers. L'*effet de masque* élimine dans les villes bruyantes (pléonasme ?) quan-



Fig. 4 : Avant d'être focalisée, la figure doit d'abord émerger (contours ?) du fond où elle se mélange (démasquage). Ensuite, une fois discriminée/localisée, elle est exhaussée du bruit environnant. D'après Lindsay Norman « *Traitement de l'information et comportement humain* », Ed. Etudes Vivantes, Québec, 1980.

tité de sons appréciables qu'on ne redécouvre (s'ils ne se sont absentes) qu'une fois l'an, lors du sacro-saint week-end du 15 août (...)

Enfouis sous les sons forts (vroum - tût - vroum, etc.), forts et aussi peu musicaux que possible, les sons ténus, timbrés, agréables, mènent leur vie infra-liminaire si gentiment qu'on ne s'aperçoit même plus de leur existence (9), assourdis que nous sommes.

Heureusement, il y a la musique. L'effet de masque s'y joue aussi à chaque instant, mais dans un autre univers ! Encore faut-il considérer que cet effet de masque est moindre en apparence qu'il n'est en réalité.

Le démasquage binaural a été mesuré dans le cadre réducteur du laboratoire, mais cette mesure donne tout de même une idée du dégagement, de l'aide à l'émergence du système auditif. Un bruit rose continu sert de masqueur (M), tandis qu'un signal à 500 Hz (S) doit émerger de la glue sonore. Un tableau résume l'aide au démasquage obtenue dans différentes conditions d'écoute. S_0 , signal identique sur les deux oreilles ; S_m signal présenté à une seule oreille ; S_n , signal présenté binauralement mais en phase opposée (180°). M_0 , M_m , M_n représentent le masqueur dans les mêmes conditions que ci-dessus. On remarque que le MLD n'est jamais négatif ; que $M_m S_m$, $M_0 S_0$ res-

Conditions expérimentales	BMLD
$M_m S_m, M_0 S_0$	0 dB
$M_n S_m$	6 dB
$M_0 S_m$	9 dB
$M_n S_0$	13 dB
$M_0 S_n$	15 dB

Fig. 5 : Le démasquage (BMLD) varie avec les conditions de la captation sonore. D'après D.M. Green et W.A. Yost, in « Handbook of sensory physiology ».

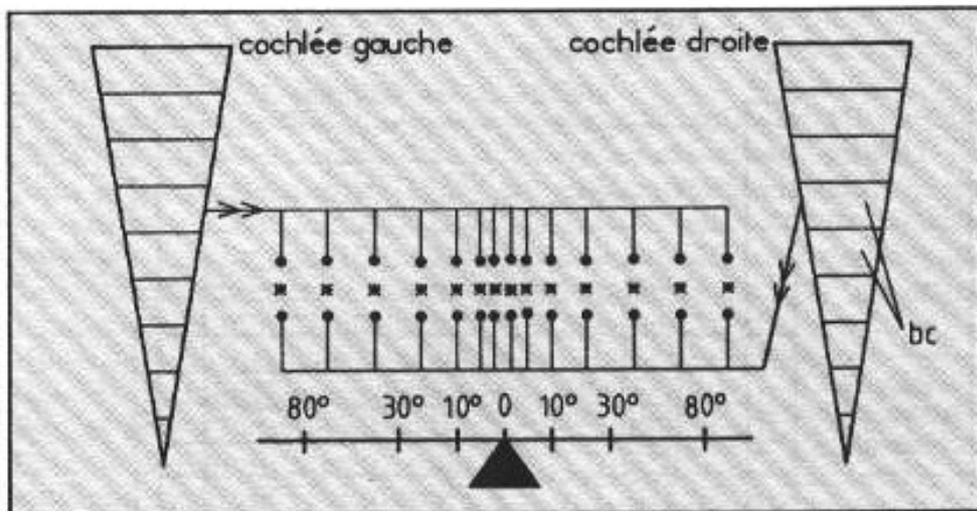


Fig. 6 : Modèle de Webster-Jeffress, concernant les basses fréquences. Les deux cochlées sont déroulées et divisées en bandes critiques (b.c). La mise en coincidence des signaux est lue par les neurones portiers binauraux. * La localisation est plus précise au centre que sur les bords de la matrice.

semblent à l'écoute monophonique, tandis que $M_n S_0$ évoque une source frontale placée dans un champ diffus et qu'enfin $M_0 S_n$ renvoie plutôt à bruit de face accompagné d'une source latérale. Cf. fig. 5. Dans les conditions courantes, le MLD atteint 15 dB (ou plus). Il est maximal entre 100 et 1 000 Hz et se stabilise à 3 dB entre 1,5 kHz et 20 kHz. Il augmente quand le bruit rose se réduit à un bruit plus ordinaire (10).

Plusieurs modèles fonctionnels ont été proposés pour expliquer le gain sur la détection/localisation. Celui de Webster-Jeffress, déjà ancien (1951) reste séduisant. Il repose sur les décalages temporels (Δt) entre masque et signal. Constatant l'existence de bandes critiques effectivement masquantes, il postule un dispositif neural réalisant une sorte de topographie de l'espace sonore subjectif. Une matrice (fig. 6) d'hypothétiques axones transporte (sous forme neurale) le front d'onde — dans la bande critique considérée — par deux chemins parallèles. Lorsque la source est frontale, la mise en coincidence des fronts d'onde se fait au milieu de la matrice. Un

(5) Le minimum d'angle audible varie avec l'angle, l'azimut de la source. Il est optimal sous l'inci-

dence frontale 0° . Cf. « Le concert et son double » in L'Audiophile n° 2. La localisation oblique, sans centration, reste imprécise.

(6) Ce substrat, les psychologues le nomment « subconscient », ce qui, chez Freud, se traduit par « préconscient ».

(7) Cf. « Comment l'entendez-vous ? » in L'Audiophile n° 5, op. cité.

(8) Le connexionisme tend à expliquer, au-delà des schémas classiques du cognitisme, la souplesse du cerveau. Un réseau d'éléments interconnectés, en modification constante — dans un « historique » ininterrompu — intègre/fabrique un savoir nouveau. Un sentier, au préalable inexistant, n'apparaît qu'en marchant. Une fois tracé, on en suit instantanément le chemin, il suffit de s'y laisser aller. Le monde n'émerge que dans l'action reconduite ou améliorée. Cf. « Connaître les sciences cognitives », Varela, Ed. Seuil, 1989.

(9) Verra-t-on un jour des rues à bruit autorisé (nuisantes) et des rues à circulation interdite (sans nuisances), tout comme il y a maintenant des salles fumeurs (tabagie autorisée) et des salles non fumeurs (tabagie exclue) ?

(10) Cf. « Handbook of Sensory Physiology », « Binaural analysis » par D.M. Green et W.A. Yost et surtout « Handbook of Perception », Hearing, « Binaural phenomena » par N. Durlach et S. Colburn. Fusion, latéralisation, focalisation spatiale et démasquage, dans toute sa complexité.

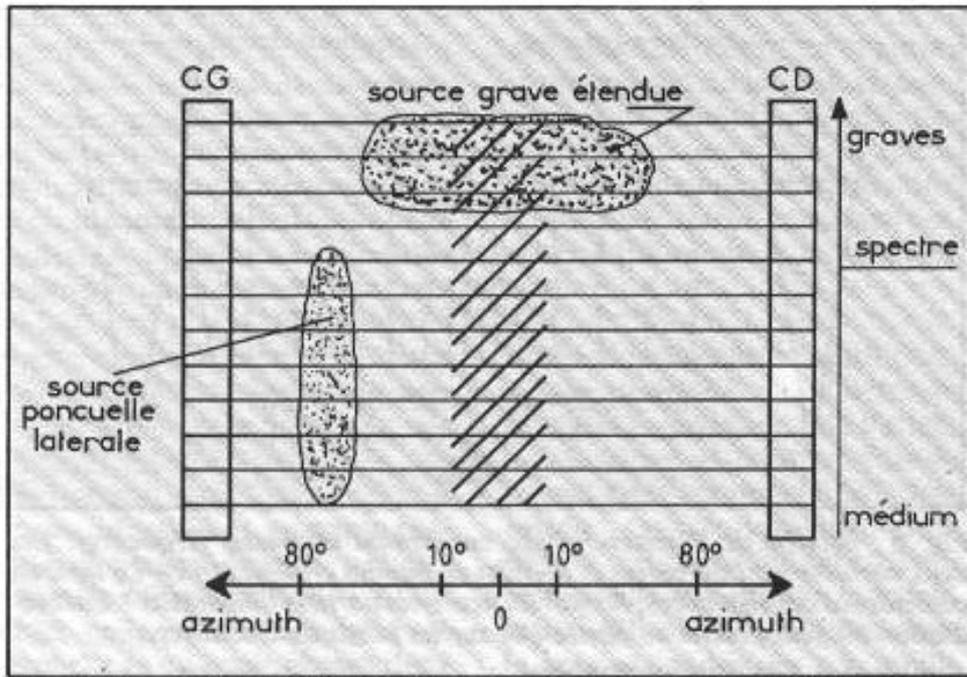


Fig. 7 : Le modèle de Webster-Jeffress propose une cartographie de l'espace sonore unidimensionnelle par l'azimut, bi-dimensionnelle par le déploiement du champ des hauteurs dans la matrice. La zone hâchurée indique le lieu de la meilleure sélectivité. Les zones pointillées représentent des sources possibles dans le champ-objet.

neurone portier (sommateur binaural) expédie alors le signal à l'étage supérieur, tandis que l'adresse (droit devant) est identifiée. Si la source est oblique, la coïncidence a lieu sur les bords de la matrice (adresse latérale) et là encore, un neurone portier facilite le passage vers l'étape ultérieure du traitement. Avec ce modèle à détection de coïncidence, la durée Δt est retraduite en espace, bande après bande, de sorte qu'il est possible d'envisager des zones facilitatrices (écoute zonale) et des zones inhibitrices (compression de l'effet de masque). Cf. fig. 7.

Celui de Durlach-Colburn est également intéressant (1965). Après égalisation en intensité des deux signaux gauche et droit, un délai interne (une ligne à retard) retient l'un des deux signaux pour en amener la partie masquante en opposition absolue avec l'autre (en phase et en intensité). Dès lors, la soustraction est possible et le signal sort du bruit. Cf. fig. 8. Durlach (1972) montre que ce modèle de démasquage est efficace (linéairement) sur une échelle de 50 dB environ.

D'autres modèles (*cross-correlation*, Sayers and Cherry (1957), Osman (1971), Colburn (1977) ont été proposés. Ils sont discutés en référence de la note (11). Leurs points communs sont rassemblés en fig. 8 bis.

L'accroissement du pouvoir séparateur par sélectivité spatiale permet l'orientation de l'attention [l'attention — périphérique — est, elle, une circuiterie, un algorithme plastique ?] sur une partie du monde sonore environnant. Comme quiconque, l'ingénieur du son exerce cette faculté dans la salle de concert, mais comme personne, il l'exerce à l'enregistrement et au mixage, devant la *façade stéréophonique*. Or, cette faculté se trouve *considérablement* réduite, sinon modifiée, par les systèmes de prise de son et de restitution.

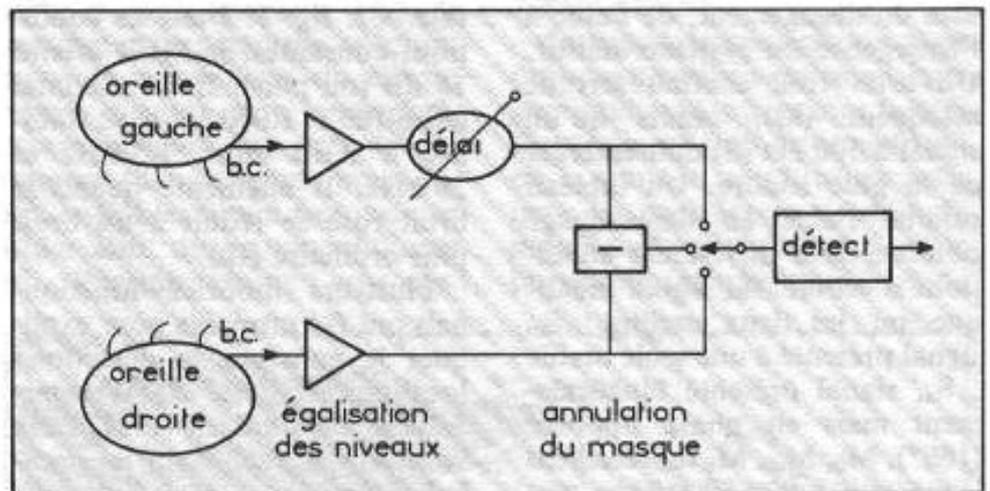


Fig. 8 : Modèle de Durlach (égalisation - cancellation). Le signal masquant (le bruit gênant) est égalisé gauche/droite puis antiphase par un délai à Δt réglable. Le soustracteur annule l'effet de masque et le signal émerge.

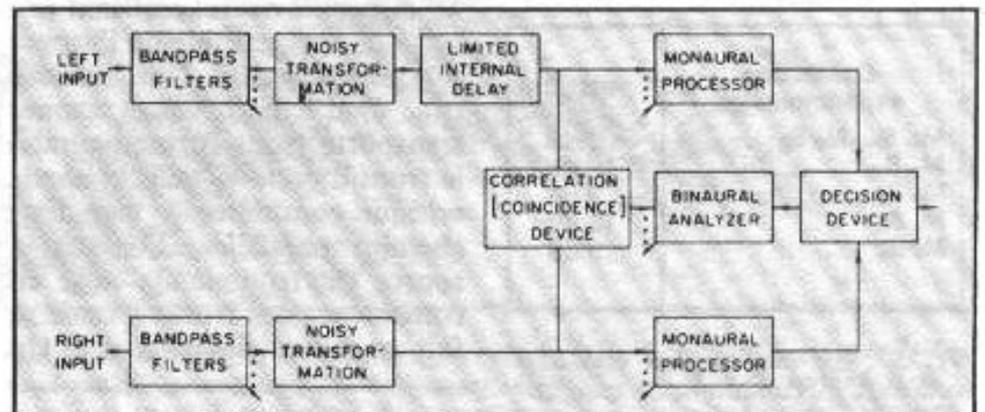


Fig. 8 bis : Diagramme des éléments communs aux différents modèles binauraux.

Il faut comprendre que le démasquage binaural, d'une part, la focalisation auditive, d'autre part, ne fonctionnent bien qu'en présence de l'espace-objet au complet et non en la seule présence de ces deux artefacts qu'on appelle enceintes acoustiques. La raison en sera donnée un peu plus loin, dans la description d'une structure sous-corticale (le colliculus ou « toit optique »), responsable du tri des stimuli audito-visuels. Le colliculus supérieur, *visuel*, « impose » au colliculus inférieur, *auditif*, ses propres vues : le son a tendance à être perçu, malgré toutes les précautions,

comme venant des enceintes. Fermez les yeux et cela va mieux : une scène sonore musicale et spatiale apparaît, quoique floue ; à ce moment seul le colliculus inférieur fonctionne, avec les faiblesses, les imprécisions inhérentes au sens auditif (et surtout à la stéréophonie). L'écoute acousmatique (c'est-à-dire sans vision des sources) perd le bénéfice de la localisation visuelle comme aide à l'écoute sélective. Dans le cas de la stéréo, c'est plutôt un avantage ! En somme, l'ingénieur du son doit écouter — *en monitoring* — ce que devient l'image (actuellement perçue entre les enceintes) dans

son rapport à ce qu'elle était (précédemment entendue au concert).

Dans la suite de cet article, nous examinerons, au-delà de l'accommodation auditive, ce qui fait l'oreille d'un professionnel du son, à savoir une sensibilité raffinée et un jugement esthétique sûr.

(11) Au chapitre 11 de « Handbook of Perception », les mêmes auteurs (Durlach et Colburn) analysent les principaux modèles fonctionnels de l'oreille spatiale et synthétisent les résultats. Pour l'instant, les différents modèles proposés restent incomplets et localement contradictoires.

**Page non
disponible**

...LA RENCONTRE

Pierre Verany
Claude Bailblé
Gérard Chrétien

Gérard Chrétien : *En tant que preneur de son, vous semblez avoir une position toute particulière, vous êtes un cas à part dans les milieux des ingénieurs du son.*

Pierre Verany : C'est vrai. Je suis mal connu des ingénieurs du son dont certains sont d'ailleurs des amis. De manière générale, on me connaît davantage dans le grand public, au travers de mes enregistrements, que dans une certaine partie du métier. Je pense que ça s'explique par le fait que je n'ai pas suivi la filière professionnelle classique. Je suis un autodidacte. J'ai fait des études de droit et Sciences Po et parallèlement je me suis toujours intéressé à la prise de son en tant qu'amateur. Et, au moment de m'installer, professionnellement, en 78, j'ai décidé de tenter ma chance dans la prise de son parce que c'était vraiment ce qui me plaisait. Mon idée première a été d'entrer dans une grande firme, mais n'étant pas connu et n'ayant pas la formation théorique classique, naturellement je n'ai pas trouvé la place que j'espérais. Alors, je me suis dit, le seul moyen de faire de la prise de son est de monter mon entreprise et de faire mes disques. C'est comme ça que tout a débuté.

G.C. : *Et donc, ce virus de la prise de son, comment l'avez-*

vous « attrapé » ?

P.V. : C'était dans les années 73, j'étais très intéressé par l'enregistrement, le cinéma, la photo... Et puis j'ai vite réalisé que c'était le son qui m'intéressait le plus. Avec des amis, nous avons monté à Aix-en-Provence une association de preneurs de son qui a été très active, avec près d'une trentaine de personnes. Vous savez, c'était une époque très propice. Nous avons organisé les fameux Jours J de la Musique avec Louis Dandrel, alors directeur de France Musique. A tel point que l'on nous disait : « Vous voulez faire telle chose avec Radio France, nous, nous émettons en direct. » Ainsi, avons-nous assuré la transmission d'un 12/14 h en direct avec Elkabach sur France Inter avec notre équipe d'amateurs et notre matériel. On nous faisait confiance, à tel point que l'on pouvait choisir les techniciens de Radio France qui allaient nous assister.

G.C. : *Il est vrai que, dans les années 70, il y avait réellement une émulation au niveau des preneurs de son amateurs avec une sérieuse couverture radios d'Etat de l'époque.*

P.V. : Exactement, parce qu'à l'époque, les amateurs savaient que ce qu'ils faisaient avait de grandes chances d'être diffusé à

la radio et en stéréophonie. Il y avait une réelle couverture avec des émissions telles que « Chasseurs de Son » de Jean Thevenot sur France Musique par exemple. Il faut être clair : quelqu'un qui fait un enregistrement, ce n'est pas pour le mettre dans une boîte. Un enregistrement est fait pour être écouté et diffusé. A partir du moment où un amateur sait que son enregistrement va être diffusé, il y a une émulation terrible. Et cette émulation, à mon sens, n'existe plus à l'heure actuelle.

Claude Bailblé : *Le phénomène s'est déporté vers la vidéo, les clips...*

P.V. : Oui, c'est vrai, maintenant c'est très différent.

G.C. : *A l'époque, le son avait un côté magique. C'était un loisir de prédilection qui semble s'être banalisé aux yeux des nouvelles générations.*

C.B. : *Je dois dire cependant que les étudiants qui découvrent la prise de son pour la première fois sont étonnés. Ils découvrent un monde qui leur était totalement inconnu. Une des premières réactions est la surprise de ce que leur rapportent les micros par rapport à ce qu'ils entendent. Ils réalisent alors que le son peut être interprété par l'emplacement microphonique, qu'il y a du matériau sonore que l'oreille*



Pierre Verany à droite, Gabriel Tacchino à gauche et Helmut Clem (accordeur) lors de l'enregistrement des 24 Préludes de Chopin.

n'est pas habituée à capter de cette façon. Et en fait, il y a un tas de gens qui, au bout d'un an d'initiation, se disent : « je vais faire du son ». Parce qu'ils ont découvert que c'était un domaine complet qui nécessite beaucoup de compétences diverses tant technologiques que musicales. Et c'est vrai que ce type d'approche échappe au grand public.

P.V. : Je vais me répéter mais je suis persuadé que s'il n'y a pas derrière un faire-valoir, une finalité qui est de faire écouter une prise de son à plus de deux personnes, il n'y aura jamais d'émulation. Je crois qu'au niveau des radios, il y a des choses très intéressantes à faire. Je pense à Radio Classique par exemple mais il semble que ce ne sont pas ses préoccupations actuelles.

Parallèlement à cette activité d'amateur, j'ai déposé un brevet en 76 de prise de son relatif à l'enregistrement des orgues avec un ballon suspendu. C'est ainsi que les choses ont évolué et que cette activité passionnelle d'amateur est devenu mon métier...

C.B. : *Quand vous faites une prise de son, est-ce que vous avez une méthode particulière dans un environnement acoustique réel, tel qu'une église, quant au choix microphonique, est-ce que vous utilisez des couples, des systèmes MS... Et ensuite, quelle sont les difficultés que vous rencontrez dans la capture sonore ?*

P.V. : En ce qui me concerne, je n'ai pas a priori de recette, de technique systématique. Chaque enregistrement pose des problèmes, des problèmes acoustiques et nécessite ses propres solutions.

Il est bien certain toutefois que chaque ingénieur du son, à la longue, finit par avoir des habitudes. De meilleures habitudes avec le système qu'il maîtrise le mieux. Je dis toujours que le meilleur système de prise de son est celui que l'on maîtrise le mieux. C'est tout. Pour ma part, j'ai à ma disposition tous les types de systèmes. Cependant, je travaille de plus en plus avec deux capsules, ce qui n'est pas un couple au sens où on l'entend habituellement, avec d'éventuels appoints. Ainsi, pour du symphonique, je mets généralement deux appoints, notamment des micros à lampes Neuman.

G.C. : *Et pourquoi à lampes ?*

P.V. : Parce que je les aime bien. J'ai également du 87 à transistors. Mais ces deux micros à lampes, que j'ai achetés d'occasion,

me plaisaient beaucoup. Les U 67 sont très bons. D'ailleurs, les deux capsules que j'utilise sont aussi du matériel d'occasion. Ainsi, j'utilise de moins en moins souvent tous les micros neufs que j'ai achetés (il y en a 20 à 25, bref la panoplie complète !) Mais je sais que je les ai à ma disposition en cas de besoin particulier.

G.C. : *Il y a un paradoxe sympathique : à l'heure du numérique, vous faites de plus en plus appel à de « vieux » micros. Comment expliquez-vous cela ?*

P.V. : C'est pour la couleur du son. Alors que le numérique n'est rien d'autre qu'un support qui permet de ne rien dénaturer à l'enregistrement, en amont, le micro, c'est un peu comme une plume. Si vous avez envie d'écrire gras, vous choisissez la plume pour écrire gras. De même, si vous voulez faire des pleins et des déliés ou si vous avez envie de prendre une pointe Bic... et puis vous écrivez, c'est tout !

Attention, je ne voudrais pas que l'on dise : « Pierre Véron est pour les tubes. » J'ai vu des choses scandaleuses faites avec des micros à tubes. Il se trouve que j'ai deux U 67 à lampes et, dans certains cas, tels que sur la voix, je trouve que c'est très beau. Ça me plaît, ce sont des micros que j'aime bien utiliser. Cela ne m'empêche pas, dans certaines occasions, de prendre des voix avec des U 87 à effet de champ ou d'autres micros. Mais disons que — par exemple — je dois partir enregistrer à Coblenz la Symphonie Rhénane de Schumann : je vais prendre mes deux capsules et les deux U 67 à lampes, point final.

C.B. : *Vos deux capsules, ce sont des microphones que vous avez modifiés...*

P.V. : Non, ce sont des microphones que j'utilise d'une certaine manière...

C.B. : *D'une manière qui doit rester confidentielle..., pour ma*

part, je lis dans la presse spécialisée des analyses comparées des principaux systèmes, le NOS, le AB, le XY, le MS... mais finalement on a beaucoup de mal à donner une base scientifique au choix retenu.

P.V. : Tout à fait et même par rapport aux courbes de directivité, je constate que si l'on applique les lois des courbes, des lobes de directivité, on arrive à certaines conclusions. Et si, finalement, l'on est plus pragmatique, si l'on fait des essais, même avec des systèmes a priori aberrant, on est parfois à l'encontre de ces théories de directivité.

C.B. : *Il y a des gens qui ne jurent que par les omni, d'autres que par les hypercardioïdes...*

P.V. : Parce qu'il y a des gens qui savent bien utiliser les omni. Moi, personnellement, je n'ai jamais su utiliser les omni de loin mais en proximité, oui, sur des percussions par exemple, ou (je me souviens) d'une harpe indienne. Les résultats peuvent être merveilleux. C'est certainement ce qu'il y a de mieux dans ces conditions. Par contre, il m'arrive d'écouter des enregistrements faits par des confrères avec des omni qui sont très biens. Il m'arrive d'en utiliser. Je me souviens dernièrement d'un enregistrement aux Champs-Élysées... On m'a contacté à 16 h pour enregistrer à 20 h... Je n'avais pas mon matériel : seule la post-production est à Paris, la production, elle, est dans le Sud. Je m'en suis sorti avec un couple ORTF avec des Neuman KM 84 car il y avait des voix. Et sans répétition, on a tout de même réussi à sortir quelque chose de bien...

C'est une question d'habitude. Il y a toujours dans la prise de son l'imprévu, la salle que l'on n'avait pas complètement cernée... mais on sait quand même, à force d'expériences, que tel système va procurer tel effet et que l'on va au devant de tel ou tel problème ou que l'on

s'oriente vers telle ou telle sonorité. Instinctivement, on sait ce que l'on va prendre dans tel cas.

C.B. : *Et donc avec les hypercardioïdes, vous n'avez pas de problème dans le grave car ce sont en fait la plupart du temps des omni dans l'extrême-grave...*

P.V. : Justement c'est ce qui est bien car on retrouve une restitution du grave que l'on n'a pas avec le cardio. Ainsi, depuis trois ou quatre ans, tous mes enregistrements classiques sont réalisés de cette façon. L'avantage est qu'enfin on entend tout avec une bonne assise des plans sonores.

C.B. : *Pour le placement même de votre système qui n'est pas un couple au sens standard 17 cm, 90°, êtes-vous amené à le déplacer pour éviter les ondes stationnaires du local ou pour remanier la clarté de certains plans ?*

P.V. : Non seulement il m'arrive de déplacer le système, mais il m'arrive aussi de déplacer les musiciens. Et lorsqu'il y en a 90, ce n'est pas triste... les percussions derrière, les trompettes à tel endroit. Quand on enregistre, avec moi c'est comme ça et pas autrement. C'est ça où je m'en vais !

G.C. : *On fait appel à vous pour une certaine exigence de qualité, me semble-t-il ?*

P.V. : Il le faut, parce que l'on a envie d'enregistrer avec moi ou que j'ai envie d'enregistrer avec eux. Bref, il y a des relations qui font que l'on veut aboutir à un disque. Il faut quand même respecter un certain nombre de plans sonore, il faut que la masse orchestrale et que les pupitres soient à leur place et que les équilibres par rapport à la partition soient respectés. C'est tout de même très important.

C.B. : *Justement, par rapport à la disposition classique de l'orchestre, est-ce qu'il y a des règles générales de remplacement pour un microphone compte tenu que l'inhibition latérale joue différemment pour l'oreille et pour le micro, compte tenu de*

l'acoustique de la salle ?

P.V. : Pour un orchestre symphonique, pas vraiment. Il faut savoir que si l'enregistrement est réussi, bien sûr, le résultat est toujours plus joli que la réalité. Amenez quelqu'un qui n'a écouté que des disques au Festival d'Aix pour écouter du Mozart : il sera déçu. J'ai eu ce type de réaction récemment...

Cela dit, pour un orchestre symphonique, quant à la disposition de l'orchestre, au lieu de l'élargir complètement à 180°, je le resserre un peu compte tenu des deux hypercardioïdes que j'utilise, de manière à ne pas avoir de trou au milieu. Les pupitres de cordes, violon 1, violon 2, alto, violoncelle, contrebasse sont comme ils doivent être. La petite harmonie quelquefois, je la fais remonter légèrement selon la salle. Par exemple, les cuivres, les orchestres aiment bien jouer trompette et trombone ensemble. Pour ma part, je préfère avoir trompette-trombone de chaque côté pour avoir un équilibre de masse. Quant aux percussions, elles sont pratiquement toujours derrière le micro, dos au chef. C'est le seul moyen d'avoir suffisamment d'espace pour les mettre où l'on veut et de jouer avec la distance pour obtenir la précision souhaitée.

C.B. : *Vous arrive-t-il d'utiliser un système MS pour créer une stéréophonie hors enceinte ou une ambiance « off » ?*

P.V. : C'est un aspect très intéressant mais je n'ai pas besoin du MS pour créer cet effet. L'idéal dans un enregistrement est de faire oublier l'enceinte, donc d'avoir effectivement l'impression que le son déborde l'enceinte. Cet effet est produit par un rapport intensité/phase entre les sons qui se situent à gauche par rapport à d'autres sons qui se situent à droite. J'ai constaté que l'oreille s'accroche sur un phénomène sonore. Elle est pilotée d'une certaine

manière. Si l'on introduit un décalage de phase entre son direct et son réverbéré, on peut obtenir certains effets. En fait, c'est le cerveau qui les fabrique en créant une illusion.

C.B. : *S'agissant des microphones d'appoint, comment lutter contre les images fantômes qui sont liées à l'existence d'un décalage de phase et d'intensité...*

P.V. : L'oreille du preneur de son. Vous savez, ce sont des appoints, ce ne sont pas des micros principaux. Leur rôle est de rééquilibrer. Dans un enregistrement classique, on fait une balance, on crée une image afin d'obtenir une illusion cohérente. Et ensuite on n'y touche plus...

G.C. : *Concernant l'apport du numérique, avec le phénomène CD que l'on connaît, pensez-vous qu'il a changé le métier du preneur de son ?*

P.V. : Non. Disons que le preneur de son, vis-à-vis du public, conserve toute sa solitude et sa magie. Certes, il doit devenir un peu informaticien, se recycler sur les tenants et les aboutissants du numérique ainsi que se méfier des écueils sur lesquels on peut tomber si cette technologie est mal utilisée... Cela dit, la nature même du métier de la prise de son n'est pas remise en cause. Je pense toutefois que cela ouvre la voie à plus d'exigence. Si l'on compare le travail que l'on faisait dans les années 60-70 où l'on savait qu'il fallait nécessairement certaines choses, certains niveaux parce qu'après, le message allait être gravé sur un 33 t. Lequel n'allait pas être forcément pressé dans les meilleures conditions, toutefois il fallait que l'on entende quand même ce qui était écrit sur la partition... Ça faisait partie des règles du jeu. Maintenant, avec le CD, tout ça n'existe plus. On est plus à l'aise pour utiliser des systèmes du type couple stéréo, des omni... pour « jouer avec le pinceau » de manière beaucoup plus subtile.

C.B. : *Concernant les écarts de phase exigés par la stéréo compatible sur disque noir, est-ce que l'on peut se permettre des audaces avec le CD ?*

P.V. : On fait du hors phase si l'on veut. Avant aussi, d'ailleurs, au niveau de la prise de son. Simplement le problème se posait à la gravure où l'on mettait un filtre en dessous de 120 Hz et les canaux se retrouvaient en mono. Maintenant, on n'a plus ce genre de problème, les canaux sont parfaitement séparés et si l'on a envie esthétiquement de mettre une percussion complètement hors phase à droite, on fait ce que l'on veut.

C.B. : *De même que pour les niveaux, je pense aux écarts entre le clavecin et les grands orgues, on peut introduire des variations impensables avec l'analogique.*

P.V. : Bien entendu puisque l'on a 96 dB de marge.

C.B. : *Je reviens à votre système de prise de son d'orgue avec un ballon à hélium pour disposer les micros à un emplacement bien spécifique. Comment se fait-il qu'il faille faire des « acrobaties aérospatiales » pour obtenir une illusion de réalité s'approchant de ce que l'auditeur entend dans le bas de l'église ?*

P.V. : De toute manière, ce que l'on entend avec les micros n'est jamais ce que l'auditeur entend au bas de l'église. C'est embelli. Ce qui se passe, c'est qu'il y a le système oreille-cerveau qui compense et arrive à percevoir des choses qu'un micro placé au même endroit percevra mal.

C.B. : *Ce qui veut dire que la stéréophonie est une réduction terrible parce que l'oreille ne peut pas compenser devant une paire d'enceintes ?*

P.V. : C'est l'art du preneur de son qui a pour rôle d'anticiper cette perte. Il faut recréer l'illusion. C'est une question d'oreille, de tâtonnements pour savoir transposer. Il faut faire oublier les haut-parleurs, faire

découvrez
la
Fidélité

confluence

La
révélation
dont on
ne se
lasse pas

"Attention, réussite totale...
Synthèse idéale pour obtenir
le prix d'excellence, le "César"
de l'homogénéité.

(Cantilène - extrait de L'Audiophile 4)

Bancs d'essai, liste des
revendeurs, documentation,
renseignements sur demande



Le Roudier, BP 29
24110 ST-ASTIER
Tél. 53.54.05.55
Minitel 3616 code Hifitel

rêver l'auditeur. Il y a aussi une chose, que vous connaissez certainement, que j'appelle la « référence de contraste », c'est-à-dire qu'une chose ne peut apparaître que par rapport à une autre. Pour faire sortir un aigu, il ne s'agit pas de mettre de l'aigu mais de mettre du grave à côté et, à partir du moment où le grave sort bien, l'aigu sortira bien. C'est ça la référence de contraste. Tout est une question de rapport et de savoir sur quoi l'oreille va s'accrocher pour entendre le tout. Si l'oreille ne peut s'accrocher sur rien parce qu'il y a des effets de masque, aucun espace n'apparaîtra. Le résultat sera nul. Tout ça tient à très peu de chose. Et je pense qu'il est essentiel pour un ingénieur du son d'être à même d'expliquer pourquoi un enregistrement a été bon et pourquoi il y a tel défaut.

G.C. : *Pensez-vous que durant ces trente dernières années, la prise de son a fait de réels progrès ?*

P.V. : Non. Je dirais même qu'en cinquante ans, dans l'art de capter les sons, on n'a pas fait de réels progrès. Je pense à un enregistrement de 1929 de l'histoire du Soldat de Stravinsky, en mono sur 78 tours, dont je possède une copie à partir des mères, c'est assez ahurissant ! Bien sûr, il y a eu des progrès techniques mais l'art de saisir les sons reste inchangé.

G.C. : *Pensez-vous qu'au niveau de l'enregistrement numérique, il y a des progrès à attendre de l'utilisation de fréquences d'échantillonnage plus élevées, voire de suréchantillonnage ?*

P.V. : Vous savez, avec le CD, on est obligé de revenir à un échantillonnage à 44,1 kHz. Par contre, à la lecture au niveau du décodage, il y a des différences importantes. Finalement en numérique, ça se passe comme en analogique. Je m'explique :

pratiquement tous les appareils sont capables de bien enregistrer, à quelques exceptions près, la différence se fait à la lecture. A titre d'exemple, je me souviens de bandes enregistrées sur Revox, écoutées sur une machine professionnelle Studer ou Nagra. On avait un gain très important par rapport à la lecture sur le Revox. Ce qui veut dire que ces bandes avaient été très bien enregistrées.

En numérique, on se rend compte du même phénomène : la précision du décodage est très importante. C'est à ce niveau, sur les lecteurs, en jouant sur le suréchantillonnage par exemple, que l'on peut obtenir une amélioration importante. Ça ne veut pas dire que vous avez plus d'informations, ça permettra d'avoir une meilleure définition au décodage des informations existantes. Finalement, les audiophiles ne se sont pas trompés : au début du numérique, ce n'était pas très bon. Mais ce n'était pas le numérique qui était en cause mais la progression technologique qui n'était pas encore achevée.

G.C. : *Quelle est votre position de preneur de son-producteur vis-à-vis du matériel haute-fidélité ?*

P.V. : Je pars toujours du principe que mes enregistrements sont toujours écoutés sur des « chaînes énormes ». On est obligé de faire de la haute-fidélité en permanence. En classique, il est vrai, on n'a pas les limitations et les impératifs de la production de variété. Je suis toujours parti du principe que lorsque c'était bon, ça passait partout.

En outre, je m'intéresse de très près à la reproduction. J'ai d'ailleurs réalisé, en collaboration avec Gérard Link, des enceintes acoustiques que j'utilise ici en post-production. Elles ont un principe de charge de type simulation de charge infinie pour lequel un brevet a été déposé.

POINT DE VUE

Egalisation : comment agir ?

N

ous avons examiné dans le précédent numéro les raisons d'agir et d'avoir recours à l'égalisation pour corriger la réponse acoustique d'un système dans un local donné.

Nous examinons à présent les solutions qui s'offrent à nous.

Comment agir ?

La nécessité de corriger sélectivement la réponse acoustique étant ainsi reconnue (pas forcément pour des cas désespérés), il reste à trouver des solutions assez universelles pour s'adapter à toutes les situations possibles et faciles à mettre en œuvre.

A ce titre, on peut envisager :
— des solutions **passives** faisant appel

- soit à des dispositifs mécaniques agissant sur les caractéristiques du local, en tant que résonateurs ; c'est ce qu'illustrent les articles consacrés à la correction acoustiques ;

- soit à des filtres, intégrés ou non dans les enceintes acoustiques (donc placés en sortie des amplificateurs) ;

— des solutions **actives** généralement sous forme d'égaliseurs à fréquences fixes ou paramétrables.

Quelle que soit la technologie retenue, le principe consiste à rechercher une réponse (électrique ou mécanique) inverse de la réponse acoustique constatée. Ce que montre la figure 10.

On note alors que l'égalisation est d'autant plus parfaite qu'on sait « fabriquer » la même sélectivité. C'est précisément là qu'est toute la difficulté.

Toutes les études publiées sur le sujet montrent (fig. 11) :

1. que l'**amplitude des défauts à corriger sélectivement est maximale en dessous de 200 Hz.**

2. qu'**une correction par tiers d'octave est optimale, mais un compromis est acceptable avec une correction par octave** (cela conduit à un minimum de 9 réglages par voie).

3. qu'**aux très basses fréquences (30 à 150 Hz) le recours à des coupe-fréquence peut s'imposer.**

En rapprochant ces exigences des caractéristiques usuelles des

filtres ou résonateurs électriques (fig. 12), on remarque que de telles sélectivités sont compatibles aujourd'hui avec des structures d'étages amplificateurs classiques, sauf aux très basses fréquences où la technologie à inductance-capacité répond seule aux critères de stabilité et de bruit (à défaut de recourir à des résonateurs mécaniques, comme indiqué dans un autre article).

Quelle technologie ?

Solutions à égaliseurs actifs

Ces solutions sont évidemment plus conformes à une mode qui veut qu'on remplace systématiquement les inductances par des dispositifs à transistors ou à circuits intégrés.

Des principes de réalisation sont illustrés par la figure 13.

Cette solution reste onéreuse en raison du nombre de cellules de correction :

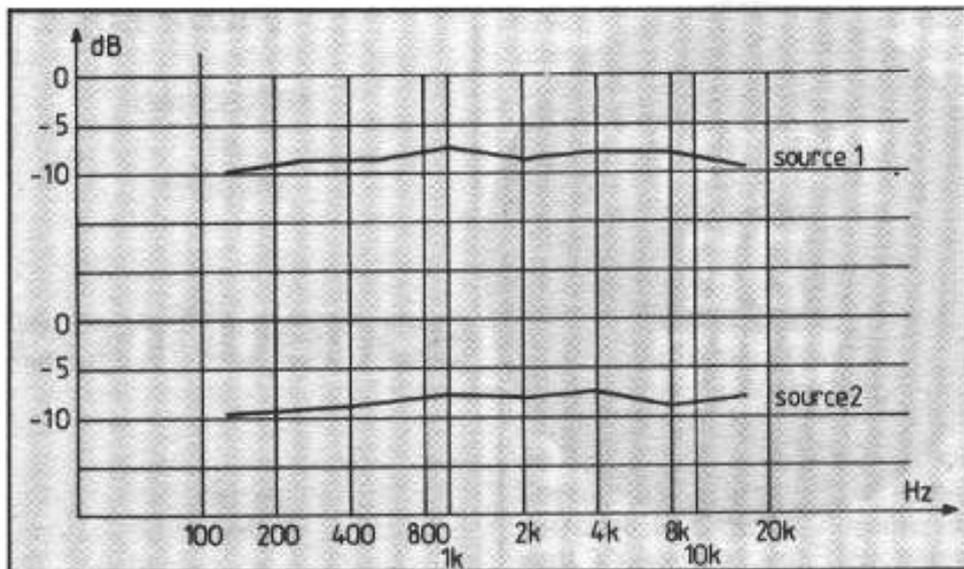


Fig. 8 : $10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$ à 2,85 m pour deux sources différentes placées dans une salle de séjour de 105 m³, avec $R = 28$. Temps de réverbération = 0,65 s à 1 000 Hz. Se reporter au n° 5 page 181.

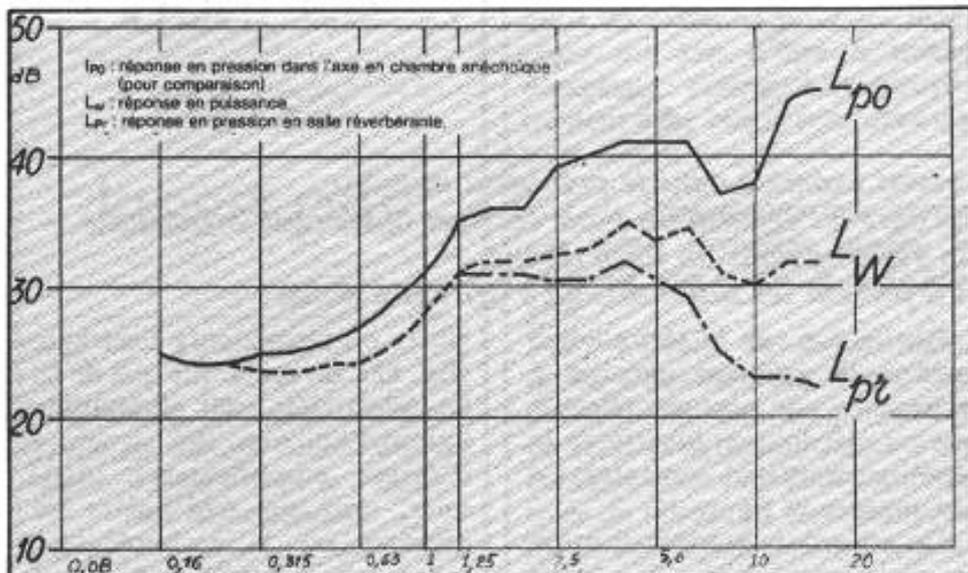


Fig. 9 : Réponse amplitude/fréquence en salle réverbérante de 200 m³ ($T = 3,2$ s) d'une enceinte acoustique à haut-parleur unique à cône d'aigu. Se reporter au n° 5 page 181.

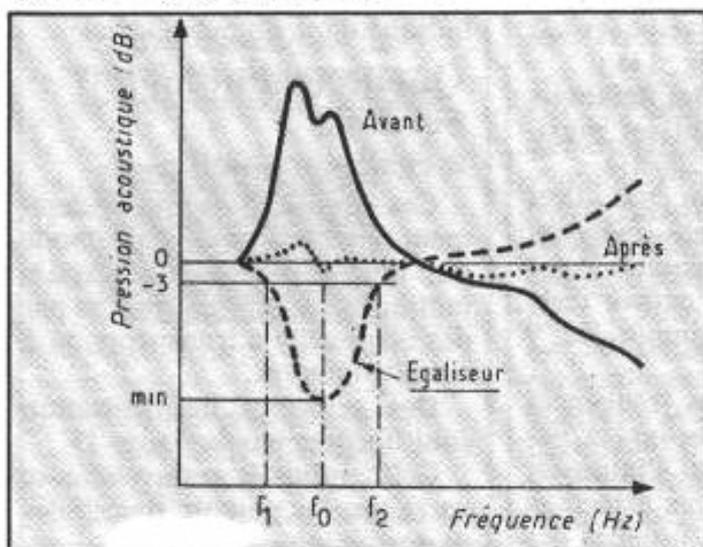


Fig. 10 : Principe de l'égalisation.

— 27 cellules par voie pour réglage 1/3 d'octave,
— 9 ou 10 pour réglage par octave.

On obtient aujourd'hui des caractéristiques tout à fait reproductibles et stables, comme le montre la figure 14, mais le rapport signal/bruit est très dépendant de la sélection des composants.

Solutions à égaliseurs passifs

Ce type de correcteur est plutôt réservé à la correction des petites salles (moins de 100 m³) pour en éliminer les effets d'ondes stationnaires responsables du son de tonneau (boomy effect) incoercible par les moyens classiques du réglage de tonalité et trop précis en fréquence pour coïncider obligatoirement avec les possibilités des égaliseurs actifs universels (1).

Des circuits passifs, fort répandus dans les équipements professionnels de télécommunications se présentent sous forme de cellules antirésonantes (fig. 15) ou de cellules en T ponté (fig. 16).

On peut reprocher à ces dispositifs l'encombrement et une adaptation d'impédance assez stricte. En revanche, si le blindage n'a pas été trop parcimonieux, on peut compter sur un rapport signal/bruit supérieur à 110 dB ainsi qu'une fiabilité excellente.

Un dernier avantage peut tenir à une accessibilité moindre des réglages : ce n'est pas la vertu des égaliseurs actifs et curseurs qu'il est toujours tentant de manipuler.

Quel bilan ?

On trouve chez les détracteurs de l'égalisation des réflexions du genre : « La présence d'un égaliseur est une preuve, difficilement (1) Les égaliseurs paramétriques permettent toutefois un réglage fin des fréquences, mais avec une faible acuité (surtension limitée).

Gamme de fréquences (Hz)	Q	$\frac{A_{max}}{dB}$	Correcteurs
40-200	1-10	20	1/3 + C Fce octave
200-8 000	> 10	12	1/3 octave
8 000	> 50	6	1/3 + P. Haut octave
40 à 16 000 Hz : total : 27 tiers/octave coupe-fréquence + passe-haut			

Fig. 11 : Caractéristiques de petites salles. Nota : Un correcteur 1/3 octave agit dans une bande de fréquences f_1 à f_2 telles que $\frac{f_2}{f_1} = 1,26$, par exemple entre 60 Hz et 76 Hz ou entre 90 Hz et 114 Hz. Un coupe-fréquence élimine une tonique qui intéresse une bande de fréquence très étroite. Un passe-haut renforce l'aigu pour compenser l'absorption des fréquences élevées par les parois.

Bande	f_2/f_1	Q	α (dB/oct.)	A_{max} (dB)
1/5 octave	1.15	8	36	12
1/3 octave	1.26	4.3	24	12
1/2 octave	1.41	3	18	12
1 octave	2	1.41	12	12

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

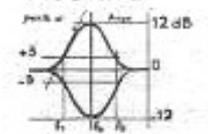


Fig. 12 : Caractéristiques de filtres égaliseurs.

supportable, que la chaîne qu'il complète n'est pas bonne. »

Quel audiophile ne manifeste-t-il pas en effet une certaine fierté à démontrer que, grâce à son choix d'enceintes acoustiques, il n'a nul besoin de correcteurs de tonalité (d'ailleurs, les plus beaux préamplificateurs n'offrent-ils pas la possibilité de les éliminer ?).

— L'insertion d'un égaliseur se traduit par du bruit (généralement du souffle), encore moins supportable que les défauts qu'on veut combattre.

— Un égaliseur introduit du flou, voire des instabilités (qu'on expliquerait par les variations de phase inéluctablement liées à des sauts d'amplitude).

— Dès qu'on installe un égaliseur, on n'est plus sûr de rien (ça évoque la tentation permanente de retoucher les réglages dans la course à la perfection)...

Il y a certainement du vrai dans ces arguments, mais est-on sûr que la résistance au changement n'est pas psychologique

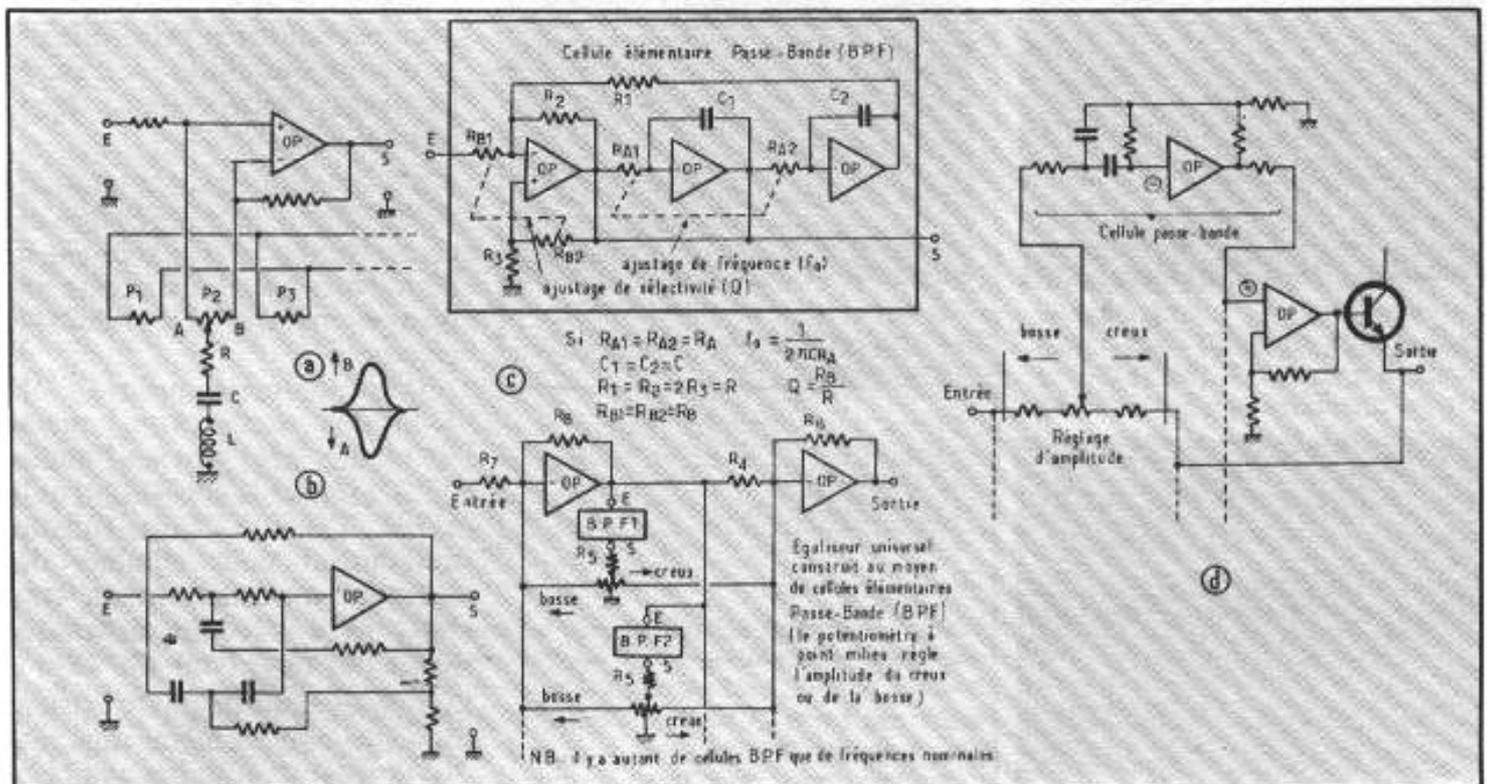


Fig. 13 : Correcteurs actifs (OP désigne un amplificateur opérationnel) : a) solution hybride (Astronic, Craftsmen) ; b) solution à filtre actif en double T sans réglage (Altec) ; c) solution à cellules actives à fréquence et à sélectivité ajustables (Technics) ; d) solution à filtre actif réglable (Pioneer).

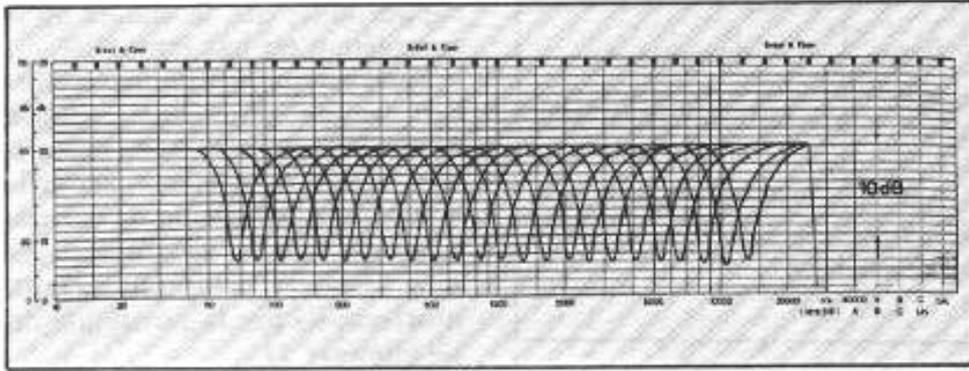


Fig. 14 : Réponse de l'ensemble des correcteurs de l'Acousta-Voicette (Altec).

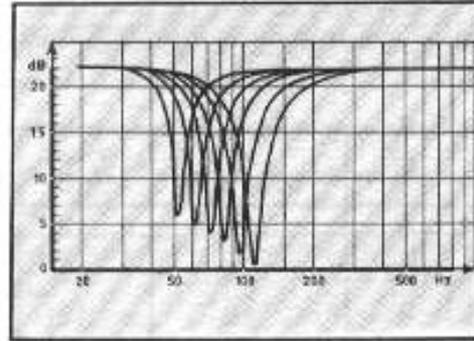
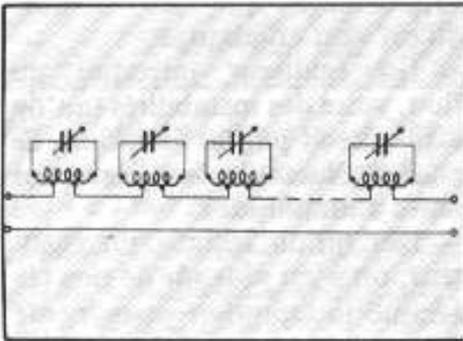
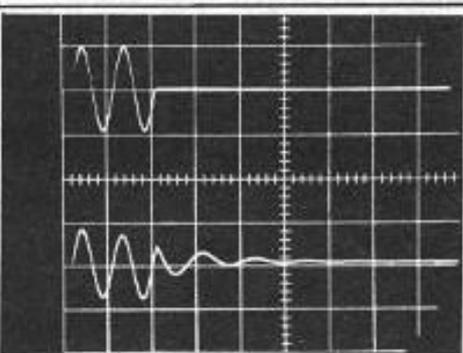
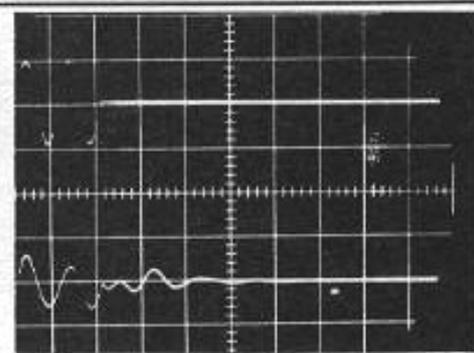


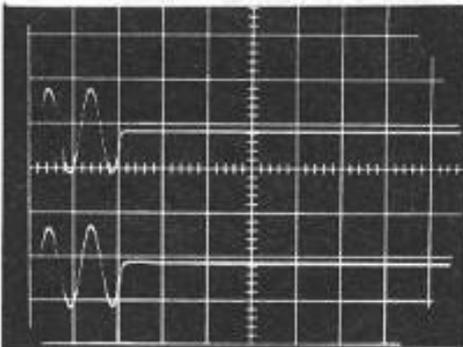
Fig. 15 : Correcteur passif à inductances/capacités (à insérer entre amplificateur de ligne et amplificateur de puissance). A droite, réponses obtenues.



a) - 14 dB à 80 Hz.



b) - 14 dB à 80 Hz et à 125 Hz. -



c) linéaire.

Fig. 17 : Influence de l'égalisation sur la réponse transitoire sur un train d'ondes 100 Hz constitué de 2 périodes.

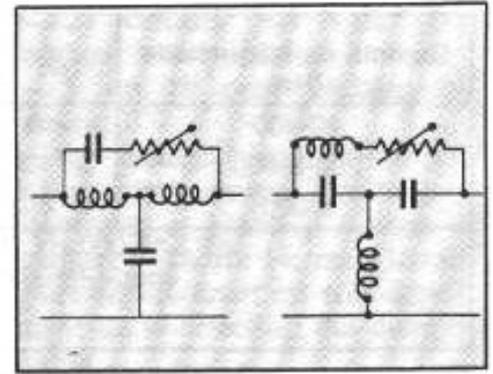


Fig. 16 : Egaliseurs à inductances/capacités du type à impédance constante.

avant que d'être fondée sur la raison !

- S'il est vrai que tout ajout d'étages amplificateurs (il en faut beaucoup en cascade pour faire un égaliseur universel, sauf dans certaines structures à traitement parallèle) ne peut que dégrader le rapport signal/bruit,
- S'il est vrai que toute correction sélective s'accompagne d'un saut de phase préjudiciable aux régimes transitoires (on note effectivement sur la figure 17 l'apparition d'un traînage, du reste parfaitement prévisible par la théorie des filtres — c'est en particulier indépendant de la technologie),
- S'il est vrai que la moindre modification dans la position des enceintes (ou le déplacement de l'auditeur) peut faire perdre une bonne partie du bénéfice escompté,

Il est non moins prouvé :

1. qu'une égalisation, même sommaire, peut amener l'audiophile à réviser la conception qu'il a de l'écoute haute-fidélité, notamment pour éliminer des toniques n'existant ni au concert, ni à l'écoute au casque (c'est très rare) (voir fig. 18) ;
2. que les sauts de phase existent de toute manière même sans égalisation car ils sont liés aux résonances acoustiques du local (2). Ils existent d'ailleurs à la prise de son multimicro ;

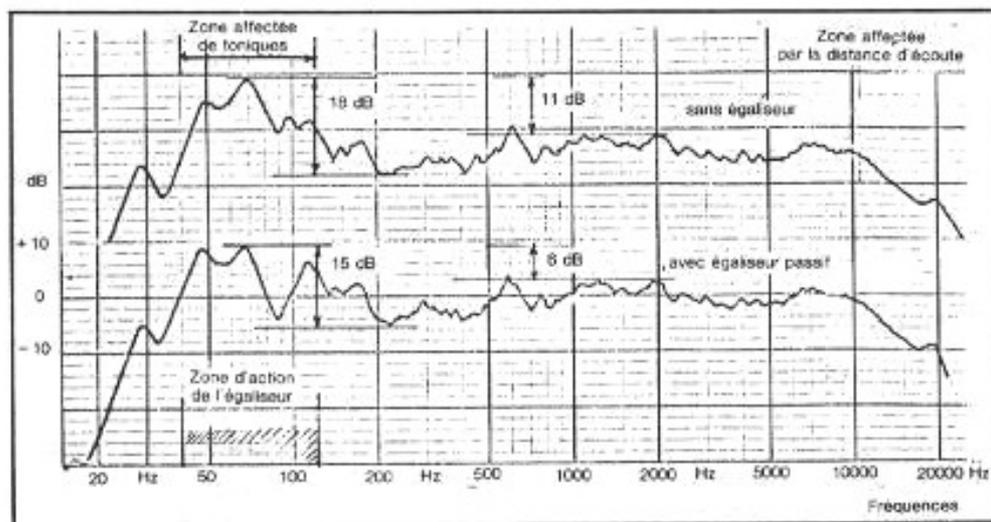


Fig. 18 : Résultat d'égalisation par correcteur passif (à 2 fréquences ajustables dans une structure coupe-bande).

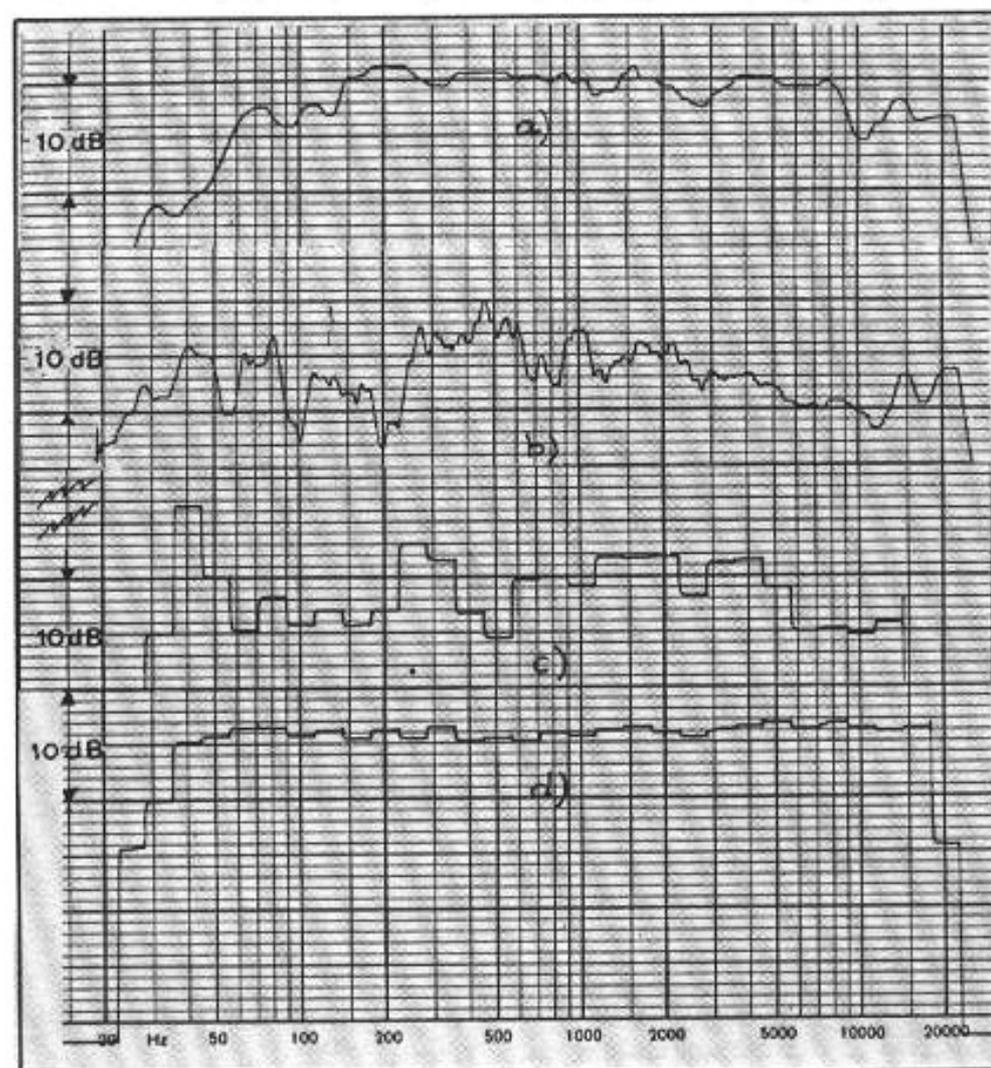


Fig. 20 : Courbes illustrant l'efficacité d'une égalisation par tiers d'octave. a) Courbe de réponse axiale d'un haut-parleur X en chambre anéchoïque relevée en onde sinusoïdale. b) Courbe de réponse axiale du haut-parleur X relevée dans une salle d'écoute normale (dimensions : 8 m x 4,75 m x 3 m). Haut-parleur en encoignure. Microphone à 4,50 m sur l'axe médian de la plus grande dimension. c) Courbe de réponse en bruit rose avant égalisation (analyse en tiers d'octave). d) Courbe de réponse, comme ci-dessus, après égalisation. D'après A.J. Andrieu et P. Loyez (Journées d'Etudes du Festival International du Son - 1972).

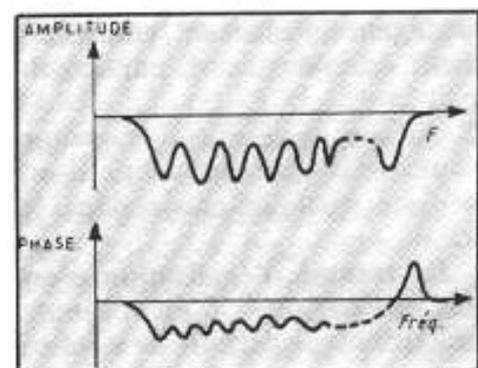
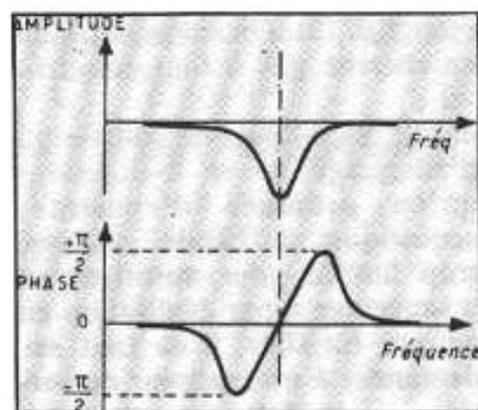


Fig. 19 : Caractéristiques amplitude et phase/fréquences. a) Un seul correcteur en service. b) Tous les correcteurs en service. (On notera un certain lissage de la phase.)

3. que ces sauts de phase sont minimisés avec des correcteurs suffisamment fins ne connaissant pas trop d'écarts de réglage

(2) Voir en particulier l'article « Résonances de salles et durées de réverbération » par Benjamin Bladrier, *Les Cahiers d'Acoustique* n° 140 (1968). L'auteur y a montré l'existence d'une excellente corrélation entre la bande passante (Δf) mesurée sur des résonances à 3 dB du maximum et le temps de réverbération (T_r), avec :

$$T_r = \frac{2,2}{\Delta f}$$

soit encore :

$$T_r = \frac{2,2Q}{f} \text{ d'après } Q = \frac{f}{\Delta f}$$

Pour un réglage par 1/5 d'octave avec une amplitude de 10 dB, on constate un déphasage de 16°/Hz se traduisant par un pic de réverbération de 50 ms.

(voir fig. 19). On suppose qu'on ne cherche pas à tout compenser ;

4. que les défauts de souffle ou d'amorçage ne se manifestent qu'en présence d'enceintes acoustiques à bande passante trop limitée pour autoriser un « sauvetage » par égalisation en amont. En clair, **il ne faut pas demander à un égaliseur de corriger à la fois des enceintes acoustiques médiocres et un aménagement acoustique déplorable** (enceintes au sol, complètement en encoignure, par exemple) ;

5. qu'une égalisation moyenne vaut mieux que rien même si on déplace quelque chose dans le local.

En résumé, l'égalisation n'est pas une panacée. C'est toujours une technique délicate de mise en

œuvre. Elle peut conduire à la catastrophe comme au ravissement. A n'en pas douter, obtenir des résultats comme ceux de la figure 20 est édifiant : il faut du temps pour comprendre ce que ça change.

Un espoir

L'arrivée du compact — qui garantit à la fois l'étendue de la bande passante et sa régularité — nous fait d'un seul coup prendre conscience que nous pouvons désormais sortir d'une phase passive pendant laquelle les techniciens se sont mobilisés pour réduire les défauts de tous les maillons de la chaîne, **sauf le couple enceinte-local.**

Il s'agirait dorénavant d'entrer dans une phase active qui devrait conduire d'autres

acteurs (dont l'audiophile lui-même) à faire subir d'autres traitements capables d'ouvrir le chemin de l'authenticité sonore. Cela peut mener aussi aux processeurs permettant un dosage de réverbération et une véritable simulation d'environnement acoustique : le Royal Hall ou Carnegie Hall chez soi, pourquoi pas ?

L'égalisation, c'est comme un lifting qui rajeunit une chaîne dont on a supporté trop longtemps les imperfections.

Heureusement, l'oreille est tolérante ; mais à la question : « Quelle est la courbe amplitude-fréquence la plus favorable à l'écoute, la réponse est certaine :

En l'absence d'autres défauts : la courbe la plus favorable, c'est la courbe la plus plate et la plus étendue possible.

NOUVEAU

CD/MATE™

présente:

La solution pratique et élégante pour enfin **emporter partout** avec vous jusqu'à 10 disques compacts avec un **maximum de protection** et un **minimum d'encombrement**.

CD/MATE est le **compagnon idéal** des lecteurs CD portables et des combinés autoradio-CD. CD/MATE permet à l'amateur comme au professionnel d'emporter partout ses disques compacts favoris: en voyage, en vacances, chez des amis etc.

- Pochettes réalisées en matériau antistatique et autonettoyant: chaque disque est idéalement protégé,
- Sécurité: les disques ne peuvent tomber quelle que soit la position du CD/MATE,
- Pratique: chaque CD est accessible avec une seule main,
- Luxueux: CD/MATE est réalisé à partir de matériaux nobles de haute technologie entièrement cousus façon sellier,
- Livré avec 4 pastilles Velcro permettant de le fixer sur un tableau de bord, un combiné portable etc.

CD/MATE est en vente chez les meilleurs disquaires, revendeurs HiFi, installateurs d'autoradios.

AUDIO
QUARTET

Pour tous renseignements contactez:

Audio Quartet S.A. 2, rue de Penthièvre - 75008 PARIS - Tél.: (1) 47.42.04.05, Fax: (1) 47.42.04.08, Télex: 290084 F