

N° 24 NOUVELLE SÉRIE 16<sup>e</sup> ANNÉE

# L'AUDIOPHILE

## SUPER QUID

• **THEORIES**  
**LES HAUT-PARLEURS**  
**IONIQUES**

• **POINT DE VUE**  
**HAUT-PARLEURS**  
**SANS CONCESSION**  
OU L'HISTOIRE  
D'UNE INSTALLATION

• **NUMERIQUE**  
**A L'ECOUTE DU JITTER**  
**SYSTEME ET TRANSMISSION**  
**NUMERIQUES**

• **POINT DE VUE**  
**L'ENREGISTREMENT**  
**CHEZ**  
**DEUTSCHE GRAMMOPHON**  
**UNE TECHNIQUE D'AVANT-GARDE**

• **QUOI DE NEUF ?**  
**LE PROCEDE**  
**SUPER-BIT MAPPING**

**NOUVELLES**  
**TECHNOLOGIES :**  
**HDCD™**



La haute-définition pour le  
compact-disque

M 2569 - 24 - 55,00 F - FC



**CLASSIQUE**

le Lied

**JAZZ**

to Dizzy with love

HAUTE FIDELITE PLUS!

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

Quoi de neuf?

## Le procédé Super Bit Mapping



Jean Hiraga

*Le compact-disc est un format dont les normes ont été figées par le fameux livre rouge il y a une douzaine d'années déjà. Ce format depuis a subi plusieurs mutations pour différentes applications de l'audio, de la vidéo, de l'informatique et pour celles appelées "multi-média". De nouveaux standards, parfois encore en cours d'évolution ont dû être établis et se sont inscrits sur les livres oranges ou verts de Philips. Depuis quelques années déjà, on a fait état de différents procédés destinés à améliorer la qualité sonore du compact-disc, procédés qui doivent bien entendu rester compatibles et conformes aux normes CD. Ces nouvelles tendances, parmi lesquelles figurent le procédé SBM de Sony viennent en quelque sorte combler partiellement la frustration que certains puristes ressentent aujourd'hui face à un format considéré à l'époque comme un excellent compromis de qualité sonore, de coût de revient, de fiabilité et de facilité d'utilisation.*

### A la recherche d'un son plus pur

Des formats nouveaux tels que le DCC, le MD, mettent en œuvre la compression des données. Ils tiennent compte de la sensibilité de l'oreille et font partie d'une nouvelle famille de médias sans rapport avec d'autres procédés qui visent, eux, une amélioration sensible de la qualité sonore du disque compact. La latitude de manœuvre est cependant limitée

dès l'instant où le support doit rester conforme aux normes du compact-disc. Au milieu des années 88 par exemple, la compagnie américaine Chesky Records a mis sur le marché des disques dont les enregistrements étaient 128 fois suréchantillonnés. L'application de cette technique s'est traduite par une amélioration sensible de la qualité sonore et également par la vulgarisation rapide du label Chesky à travers le monde. En 1992, le label américain Reference

Recording adoptait un autre principe conçu par la Pacific Microsonic qui fut baptisé High Definition CD ou HDCD.

Mais revenons à l'histoire du Super Bit Mapping. En janvier 1989 fut fondée à Hambourg la firme Sony Classical, qui allait se consacrer entièrement à la musique classique avec pour objectif des enregistrements de très haute qualité technique et artistique. A cet effet fut conçu pour cette firme un enregistreur numérique 20 bits

réels. La version commerciale et évoluée de cet appareil aux performances spectaculaires, nettement supérieures à ce que l'on peut obtenir à partir du compact disc standard sera prochainement disponible sous la forme du PCM 9000 "Digital Master Disc Recorder", un appareil professionnel 2 canaux utilisant un disque magnéto-optique de 5,25" codage 16, 20 et 24 bits et fréquences d'échantillonnage de 44,1 kHz, 44,056 kHz et 48 kHz. Trois années durant, la Sony Classical de Hambourg réalisa ainsi la totalité de ses prises de son en 20 bits/44,1 kHz. L'une des premières prises de son en 20 bits eut lieu en avril 1989. C'était celle de l'orchestre Philharmonique de Berlin dirigée par Barenboïm, avec des œuvres de Mahler et le soliste Dietrich Fisher-Dieskau. Autant fut apprécié le grand talent des interprètes, le superbe travail des preneurs de son et surtout l'extraordinaire qualité sonore obtenue en numérique 20 bits, autant fut unanime la déception de tous ceux qui écoutèrent la transcription en format 16 bits/44,1 kHz de ces enregistrements. Des ingénieurs du son, des directeurs artistiques de la firme Sony au Japon n'hésitèrent même pas à déclarer, sans autres détours "diplomatiques" que ce pas en arrière faisait perdre à la musique, à la voix son émotion, son réalisme et toutes les finesses des interprétations. En faisant ce premier pas, Sony Classical avait donc fait l'essentiel : la réalisation d'enregistrements d'une qualité inégalée à ce jour, ce qui est non négligeable vis-à-vis des générations futures. Des mois durant, l'équipe de la division professionnelle Sony concentra tous ses efforts en vue de la recherche d'un procédé de transformation de 20 bits en 16 bits satisfaisant.

Les premiers résultats, obtenus à partir d'un procédé encore non divulgué furent réunis sur un disque-test mis en vente à l'Audio

Fair de Tokyo en octobre 1990. En l'espace de trois jours seulement, les stocks de ce disque CD intitulé "High Resolution Master Sound" (réf. CD-9) furent épuisés. Suite à ce petit coup d'essai fructueux, Sony dut faire des recherches pendant près d'une année pour la mise au point d'un procédé de conversion travaillant en temps réel. C'est finalement en septembre 1991 que la Sony Music Entertainment mit enfin sur le marché les premiers disques CD de musique classique codée SBM ou "Super Bit Mapping", de première génération.

## Le SBM de seconde génération

Différents disques CD classique codés SBM première génération furent alors soumis pour évaluation à plusieurs critiques de la presse spécialisée japonaise. Les critiques furent plutôt mitigées, à mi-chemin entre le "plus beau que nature" et "habilement trafiqué". Ces avis, en majeure partie partagés par les ingénieurs de la division professionnelle Sony conduirent alors à l'élaboration d'un nouveau processeur SBM. L'enregistrement d'origine fut repris et les disques ainsi traités SBM, seconde génération furent de nouveau soumis, avec succès cette fois à la presse. Le feu vert fut alors donné à dater de novembre

1992, pour la commercialisation à travers le monde, du processeur Sony Super Bit Mapping SBM K-1203 pour un prix proche de 80.000 F. Rappelons à ce sujet que n'importe quelle société d'édition de disques peut faire usage du processeur SBM sans qu'il se pose de problème de redevance ou de royalties autre que le label SBM à apposer sur les disques ainsi traités.

## Principe du processeur SBM

Pour résumer en un mot le principe de traitement du signal par processeur SBM on pourrait assimiler ce dernier à un conformateur de bruit associé à une correction physiologique. Autrement dit à un traitement des signaux à l'aide d'un bruit, à la manière des premiers enregistrements en CD où on a introduit volontairement sur les petits signaux un bruit aléatoire de type "dither noise", mais que l'on complète d'un traitement qui tient compte du seuil inférieur de sensibilité de l'oreille, selon Robinson et Dadson (figure 1). On y remarque que la sensibilité maximum de l'oreille se situe dans la zone comprise entre 2 et 5 kHz et que, par rapport à cette zone, l'écart de sensibilité par rapport à 20 Hz est de l'ordre de 80 dB, ce qui est énorme.

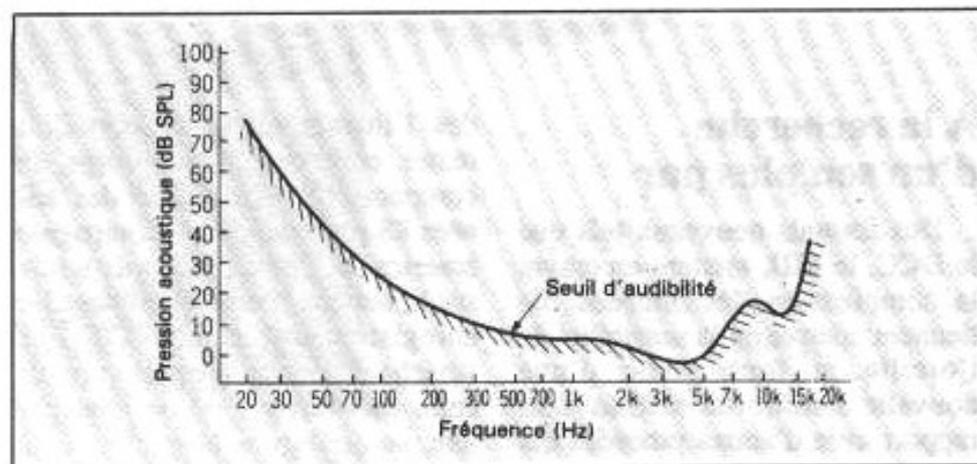


Fig. 1 : Seuil inférieur d'audibilité, d'après Robinson et Dadson. On remarque que la sensibilité maximum de l'oreille se situe dans la plage comprise entre 2 et 5 kHz, l'écart de sensibilité par rapport à 20 Hz avoisinant les 80 dB;

La première génération de processeurs SBM appliquait cette correction dite "physiologique" à son conformateur de bruit "Noise Shaping" traité en 20 bits. Comme indiqué plus haut les résultats subjectifs ainsi obtenus étaient prometteurs sans être parfaits pour autant. On soupçonna alors le fait d'avoir utilisé la correction physiologique telle quelle, d'où l'obtention d'un caractère tonal "bizarre" dans le médium-aigu, que l'on baptisa tour à tour de "vrillé", "tordu", "hyper-réaliste" ou encore "trop lumineux par rapport aux autres registres de la bande audio". L'écoute du premier disque "CD-9" réalisé pour l'Audio Fair illustre parfaitement cette impression.

L'équipe Sony chargée de l'étude du Mini-Disque et de la compression des données démontra alors à l'aide de fréquences glissantes et fixes de différentes amplitudes qu'il fallait tenir compte de phénomènes de masque. Après de nombreuses modifications complétées d'essais comparatifs fut établie la courbe conformateur de bruit SBM ou "SBM Noise Shaping". Elle est représentée sur la figure 2. On y remarque, par rapport à un seuil de bruit résiduel constant en 16 bits linéaires que celui-ci est atténué de façon modérée (11 dB maximum) aux fréquences graves et reporté au-dessus de 15 kHz, là où justement les considérations de phénomènes de masque, de sensibilité de l'oreille et de densité des informations sonores et musicales rendent cette opération possible. Ainsi, la courbe de cette figure montre que l'augmentation très sensible de bruit au-dessus de 15 kHz (+16 dB environ à 20 kHz par rapport à 15 kHz) n'est ni gênante ni vraiment audible dès l'instant où le recul de bruit s'améliore aux fréquences plus basses. A rappeler cependant que l'établissement de cette courbe reste critique et peut ne pas convenir parfaitement à certaines associations de matériels de prise

de son. Là aussi, l'équipe Sony a dû rechercher le meilleur compromis, quitte à minimiser légèrement les performances optimales de certaines configurations. La courbe de la figure 2 ne doit pas pour autant être assimilée à une courbe physiologique "active", compensée en fonction d'un effet de masque donné, mais d'une synthèse beaucoup plus complète basée sur de nombreux paramètres, incluant notamment une bonne balance tonale, ceci quel que soit la forme et la complexité du signal à traiter. Mais le point le plus fort du procédé réside dans son application non pas à partir d'une quelconque modélisation, simulation ou approximation mais d'un véritable traitement en temps réel. Ce point important est à la base des grandes différences de qualité subjective ressenties par rapport au procédé SBM de première génération. Il permet ainsi de s'approcher de très près des résultats d'écoute obtenus à partir d'une vraie quantification 20 bits. Un retour à la figure 2 montre en plus que le 0 dB correspond en 16 bits à celui du seuil de bruit de quantification.

## Le conformateur de bruit

Le classique conformateur de bruit dit "Noise Shaping" pourrait être assimilé à une sorte de "contre-réaction numérique". On pourrait pour simplifier les choses ramener le principe du convertisseur N/A 1 bit au schéma de la figure 3. On y voit qu'en sortie le signal 1 bit est assimilable en 16 bits au signal "LSB" (bit le moins significatif). Si, en 16 bits, on assimile à 1 le bit le moins significatif, on aura en 20 bits, pour des informations inférieures à 1, un certain nombre d'informations après la virgule que l'on se trouvera contraint de simplifier. Sur la figure 3, on obtient en sortie du quantificateur Q un signal égal à 1 pour une valeur supérieure à 0,5 et 0 pour une valeur inférieure à 0,5. En conséquence, lorsqu'une suite de signaux de valeur 0,6 sont admis à l'entrée, on obtiendra en sortie une suite de signaux de valeur 1. C'est, en quelque sorte, un traitement "simplificateur". En y ajoutant une "contre-réaction", à savoir un conformateur de bruit du premier

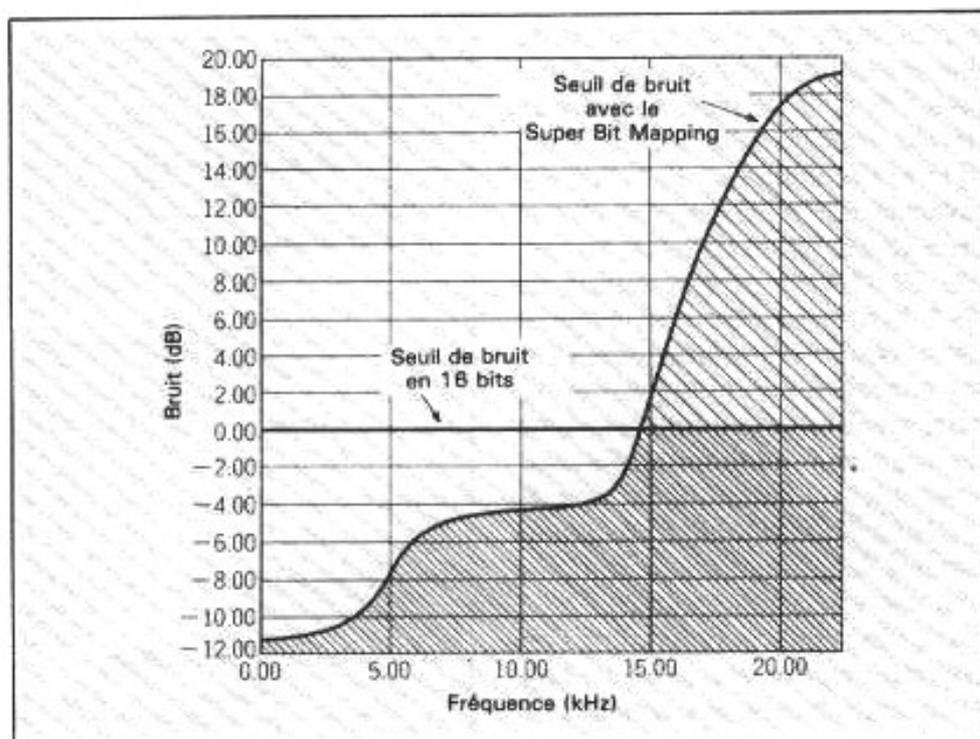


Fig. 2 : Courbe du conformateur de bruit SBM "Super Bit Mapping Noise Shaping".

ordre, la valeur de chaque point obtenu correspond alors au tableau de cette figure. Ces données circulent dans le circuit et pour un signal d'entrée de valeur 0,6, la première quantification donne à la sortie du quantificateur Q une valeur 1 au point "b". Ensuite, la différence du signal de sortie 1 et du signal d'entrée quantifié donne une valeur d'erreur de -0,4. Le second échantillon de valeur 0,6 ajouté devient alors 0,2 au point "a". Ce 0,2 quantifié devient ensuite 0 au point "b". Ainsi, la différence entrée-sortie du quantificateur Q passe à 0,2. Ensuite, la valeur de 0,2 introduite dans la boucle de contre-réaction s'ajoute à celle de 0,6 admise à l'entrée, produisant ainsi une valeur de 0,8 soit 1 après quantification. C'est la répétition de ces opérations qui produit la valeur moyenne indiquée en bas du tableau de la figure, soit 1010110101 sous forme d'une succession d'impulsions. Sur 10 échantillons recueillis, 6 prendront ainsi la valeur de 1, soit  $6/10^e$  ou 0,6. C'est, sous forme simplifiée, le fonctionnement de ce fameux "Noise Shaping". Pour une valeur plus ou moins symétrique de 0,5 par exemple on obtient en sortie une valeur intermédiaire tandis que pour 0,6, cette dernière se trouvera déviée. Pour le signal impulsionnel "11" et l'échantillon "1010" du cas présenté ici, 1010 pourrait être le bruit généré par le signal de 20 kHz (ou 22,05 kHz, soit la moitié de 44,1 kHz pour être plus précis), tandis que le "11" représenterait celui engendré par le signal de 10 kHz, signifiant ainsi une remontée du bruit aux fréquences élevées. Toutefois, l'intégration consécutive à l'insertion de filtre passe-bas aux fréquences moyennes produit une valeur résultante de 0,6 en sortie, donc inférieure à ce que l'on pourrait avoir en entrée en 16 bits. Dans cette bande, les données en 20 bits peuvent donc être représentées en 16 bits.

Pour des échantillons de confi-

guration bien définie, proches du courant continu ou du zéro numérique, il faut toutefois stopper le fonctionnement du "Noise Shaping". A préciser que sur le SBM de première et de seconde génération il s'effectue en 12 étages, comme on le voit sur la figure 4. Le processeur de signal DSP qui accompagne le circuit est d'origine Texas Instruments, le TMS 57002. Le calcul à virgule flottante améliore également la qualité de quantification.

En résumé, le bruit de quantification conséquent à une réduction du nombre de bits n'est pas un nouveau problème. Il en est fait usage depuis un certain nombre

d'années dans le but de réduire les effets liés aux erreurs de quantification, ainsi que pour les convertisseurs N/A à suréchantillonnage, là où les filtres numériques ajoutent des données obtenues par interpolation. L'usage du conformateur de bruit "Noise Shaper" est une solution qui évite de tronquer les 4 bits les moins significatifs "LSB" ou de les simplifier pour en faire un mot de 16 bits et ainsi de produire des erreurs de re-quantification. Dans tous les cas de figure, les convertisseurs N/A à faible nombre de bits repoussent le bruit au-delà de 20 kHz, là où le filtrage par filtre passe-bas peut agir sans difficulté.

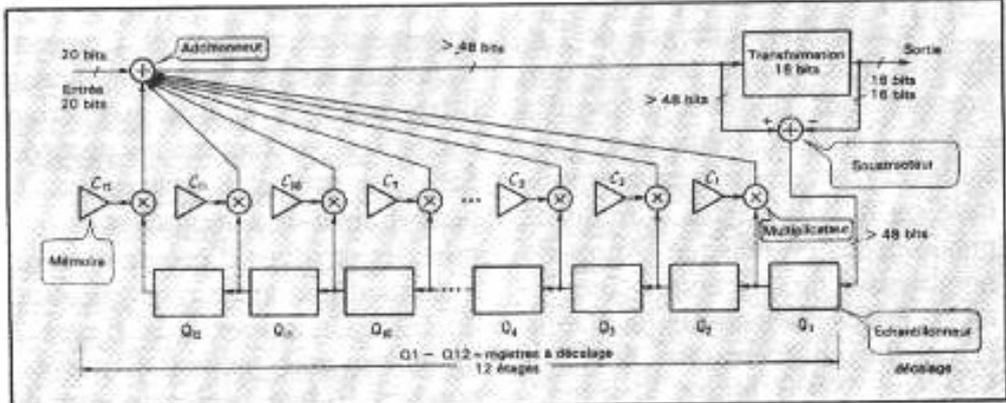


Fig. 3 : Principe simplifié d'un conformateur de bruit du premier ordre.

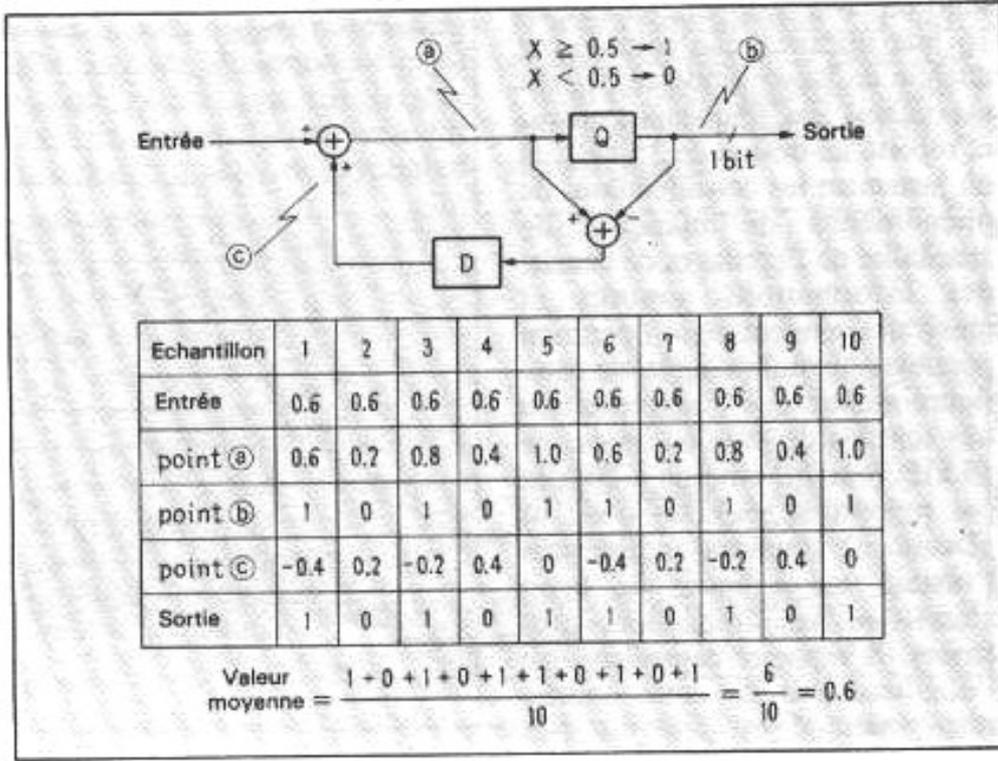


Fig. 4 : Conformation de bruit "Noise Shaper" de type SBM. Principe simplifié.

## L'amélioration du pouvoir d'analyse par traitement SBM

La figure 5 représente le principe de fonctionnement du Super Bit Mapping. En haut, le signal 20 bits d'origine fait apparaître une rampe constituée de petites "marches d'escalier". Il faut prendre note des échelles indiquées à gauche, signifiant que la définition en 20 bits est 16 fois plus élevée qu'en 16 bits, 1 "LSB" (le moins significatif, le plus petit incrément de résolution) en 16 bits correspondant à 16 "LSB" en 20 bits. En passant directement du 20 bits au 16 bits par simplification, un accident se produit lorsqu'un demi-"LSB" en 16 bits se positionne au niveau du 8<sup>e</sup> "LSB" en 20 bits. Cet accident est responsable d'une perte importante des signaux de faible amplitude, lesquels vont s'accompagner par exemple de chuintements sur chaque attaque. Avec la conformation de bruit "Noise Shaper", les 2

"LSB" en 20 bits vont correspondre à deux impulsions sur 16 échantillons, soit  $2/16^e$  de 2 "LSB". Ou bien pour 4 "LSB" en 20 bits à 4 impulsions pour 16 échantillons en 16 bits, donc aux 4 LSB en 20 bits du signal d'origine, ce qui exige un fonctionnement en mode PDM (modulation par densité d'impulsions), avec établissement des valeurs intermédiaires.

Le véritable principe est plus compliqué car le traitement s'effectue à travers un système de retards en 12 étapes de la figure 4 et font en fait des signaux figés sur la figure 5 des signaux sans cesse mobiles. Le concept de spectre de bruit optimal est le point important qui met en valeur le procédé Super Bit Mapping. Le nouveau mode de redistribution du bruit à travers la bande audio rend celui-ci insensible, ceci bien que l'énergie totale formée par ce bruit ne soit pas diminuée pour autant. Ainsi, malgré une augmentation sensible du bruit dans la région des 16 à 20 kHz, celui-ci est "oublié" en raison d'une

qualité sonore tout à fait similaire à celle d'un procédé 20 bits dans les registres de fréquences plus basses.

Le Super Bit Mapping, SBM de seconde génération permet ainsi d'atteindre en format 16 bits standard une qualité de reproduction très proche de celle obtenue normalement en 20 bits. Sur la figure 6, l'analyse d'un signal de fréquence 100 Hz enregistré à très faible niveau, soit -90 dB en 20 bits, en 16 bits classiques, en 16 bits avec addition de bruit blanc "dither" puis, enfin, en 16 bits avec processeur SBM démontre la supériorité évidente de ce dernier. La figure 7 représente le processeur Super Bit Mapping ainsi que son schéma synoptique.

Les spécifications principales du processeur SBM Sony K 1203 sont les suivantes :

- entrée numérique < 24 bits
- sortie SBM 16 bits
- échantillonnage 44,056, 44,1 et 48 kHz
- entrées/sorties standard AES-EBU, XLR 3-31 et 32 et BNC
- dim 424 x 440 x 330 mm

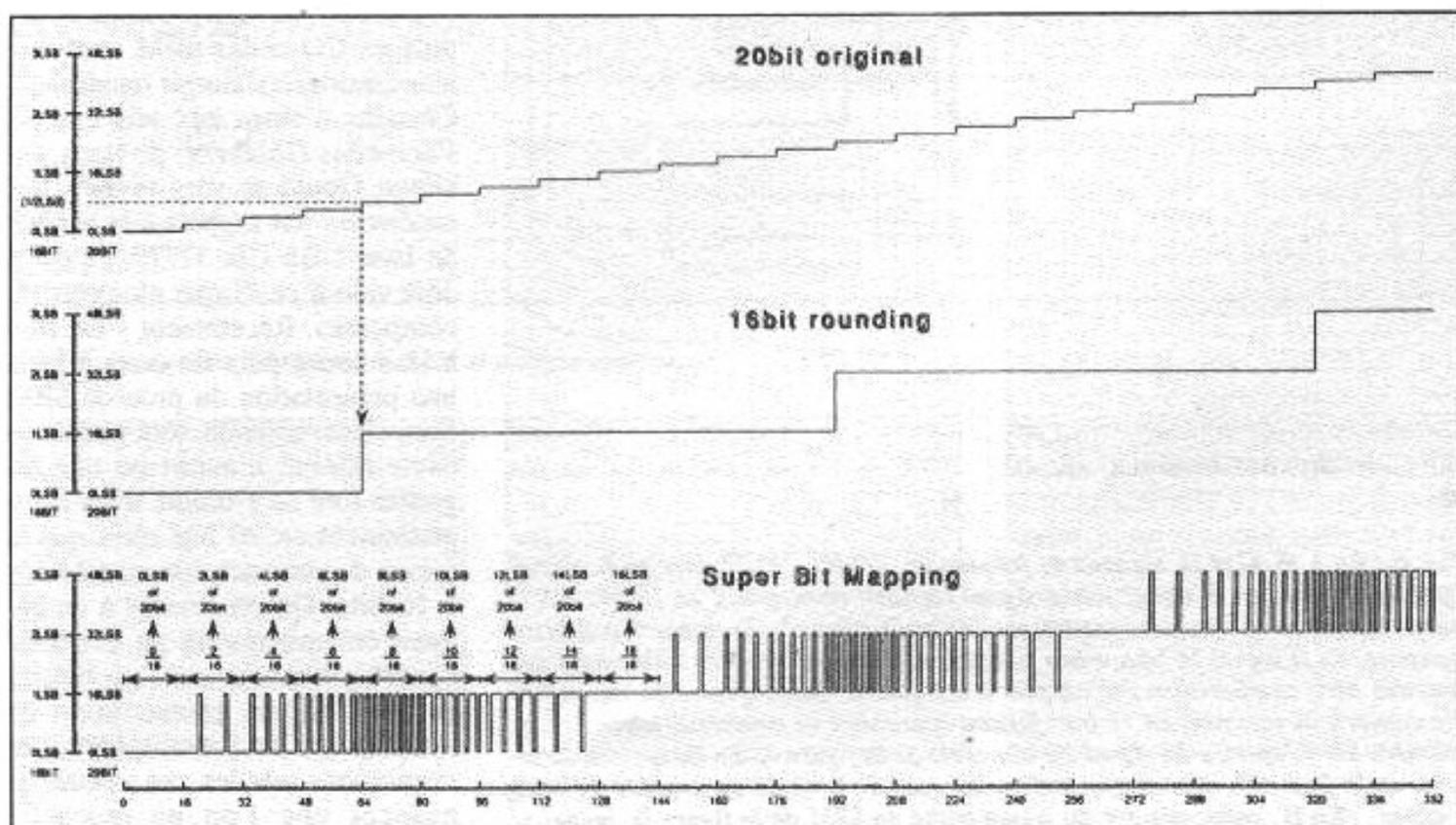


Fig. 5 : Principe de fonctionnement du SBM.

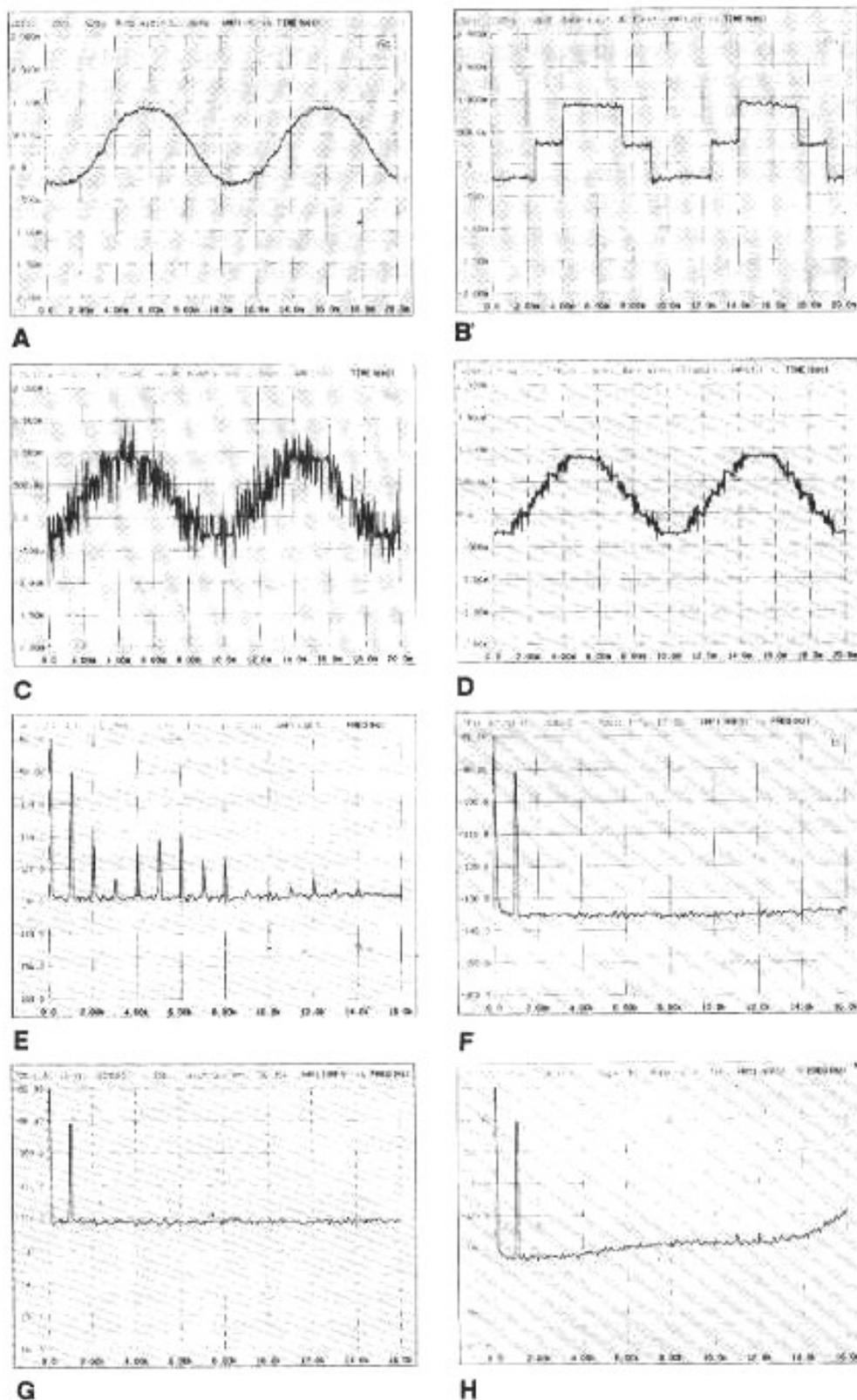


Fig. 6 : En A, B, C et D, signaux de fréquences 100 Hz, -90 dB avec en A, signal codé en 20 bits, en B signal même signal converti directement en 16 bits, en C même signal en 16 bits avec traitement par bruit "dither", bruit blanc à spectre gaussien, en D signal 16 bits, même fréquence; traité par procédé SBM, montrant une très nette amélioration par rapport à la figure B. En E, spectre du signal 100 Hz converti directement en 16 bits, faisant apparaître de nombreux harmoniques impairs. En F, spectre du signal 20 bits réels de la figure A. En G, spectre du signal de la figure C, avec augmentation du seuil de bruit dû au procédé de bruit "dither". En H, enfin, spectre du signal traité en SBM de la figure D, lequel se rapproche de celui obtenu en 20 bits de la figure F, avec seulement une légère augmentation du bruit aux fréquences élevées.

- consommation : 30 W
- Prix / environ 85.000 F.

Du côté enregistrement en 20 bits, Sony dispose actuellement du K-1183 (v. figure 8), enregistreur deux canaux sur bande 6,35 mm avec bobines 12,5".

Un autre appareil, plus sophistiqué encore, le dernier PCM 9000 fait appel à un disque magnéto-optique de 5,25" simple face avec 80 minutes d'enregistrement en 20 bits, 100 minutes en 16 bits et 62 minutes en 24 bits. D'autres avantages, tels qu'un temps d'accès ultra-rapide (1/2 seconde), la sauvegarde de données auxiliaires de montage en font un appareil idéal pour les professionnels du son, ceci d'autant plus que le pris se situe entre 160 et 180.000 F, ce qui est compétitif en regard des prestations offertes.

Ces différents maillons professionnels dont la mise sur le marché est récente (novembre 92 à mars 93) vont être disponibles rapidement en Europe (le processeur serait déjà disponible en France).

Du côté de Sony Classical, les disques CD codés SBM vont voir leur catalogue s'élargir rapidement. Certains d'entre eux tels que les *Variations Goldberg* de Bach, par Glenn Gould se sont révélés très supérieurs par rapport à la version de base CBS CD 37779, ce qui a déjà valu à ce disque plusieurs récompenses. Récemment s'est tenu à Hambourg puis fin mars à Paris une présentation du procédé SBM Sony. Bien entendu, tout puriste en haute-fidélité n'aurait pu que regretter lors de l'écoute d'un enregistrement en 20 bits réels que la norme du compact-disc ait été fixée à 16 bits. On en revient à ce qui avait été mentionné au début de l'article, à savoir que l'on obtient en 20 bits une transcription de l'ambiance, de l'atmosphère, ces respirations subtiles, ces palettes de nuances que l'on ne rencontre guère qu'en analogique sur bandes master. Si un certain nombre de ces

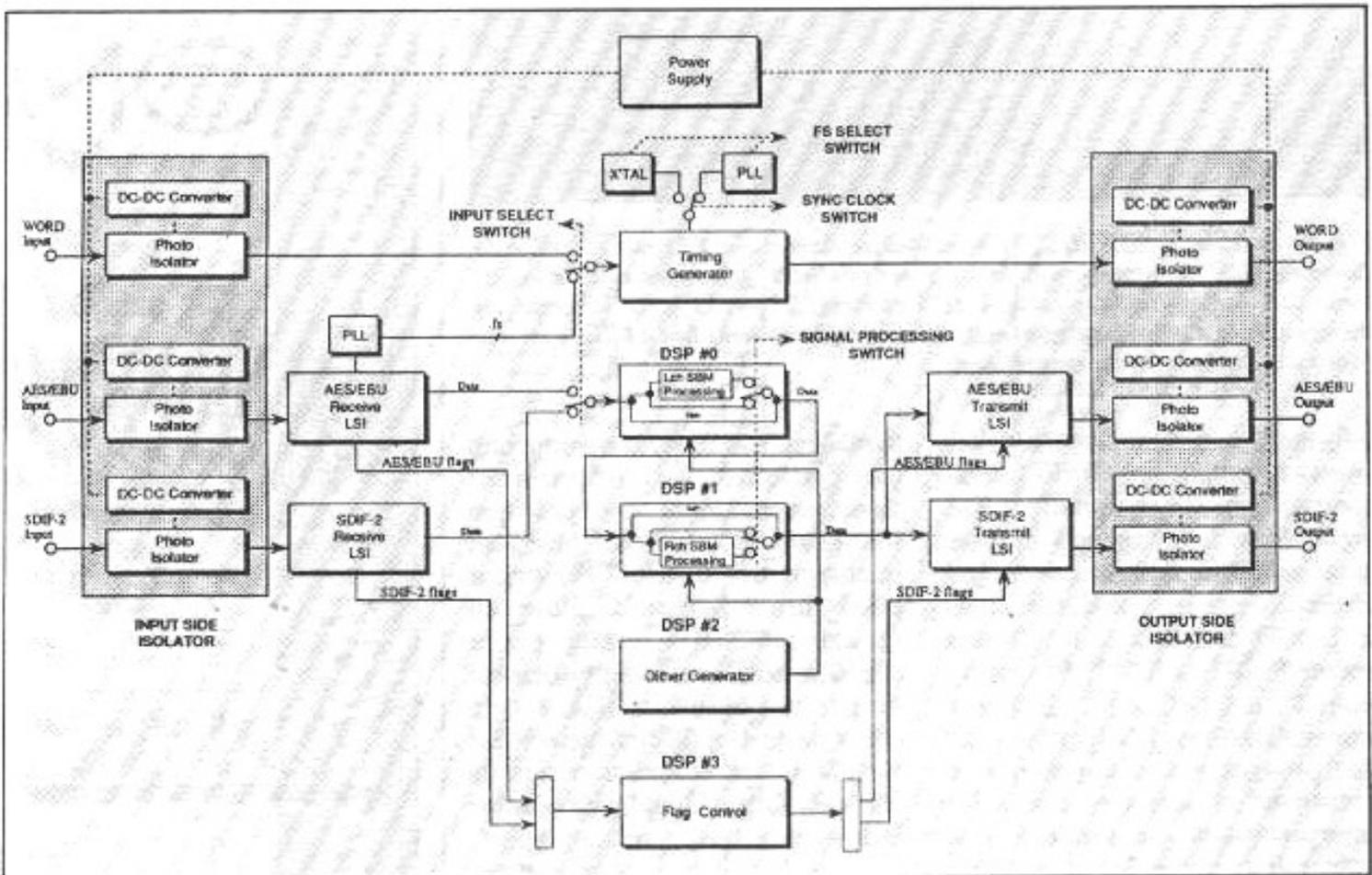
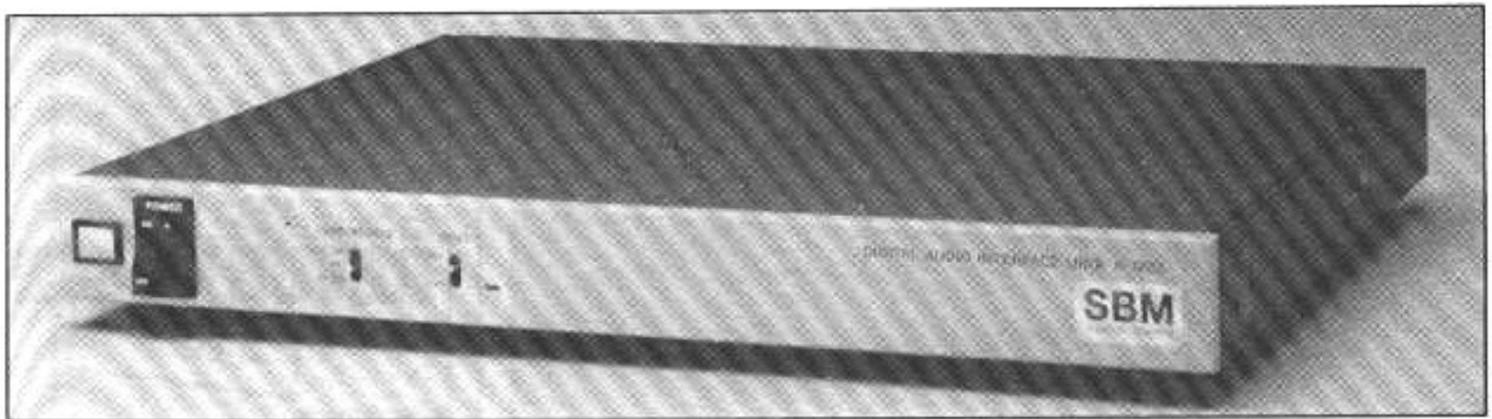
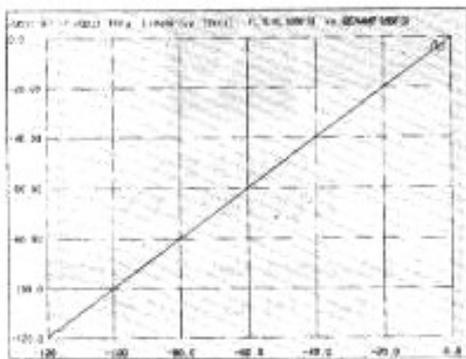
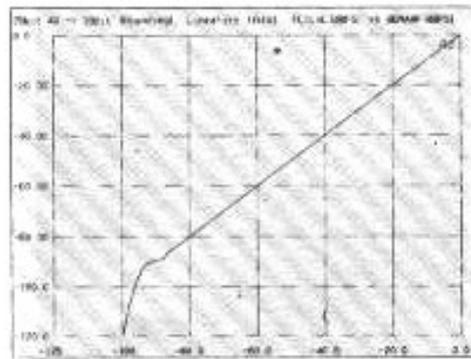


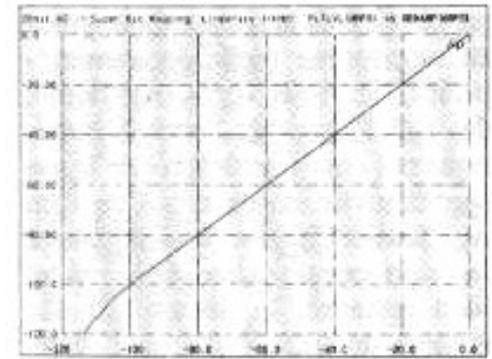
Fig. 7 : Processeur SBM Sony K-1203 et schéma synoptique.



A

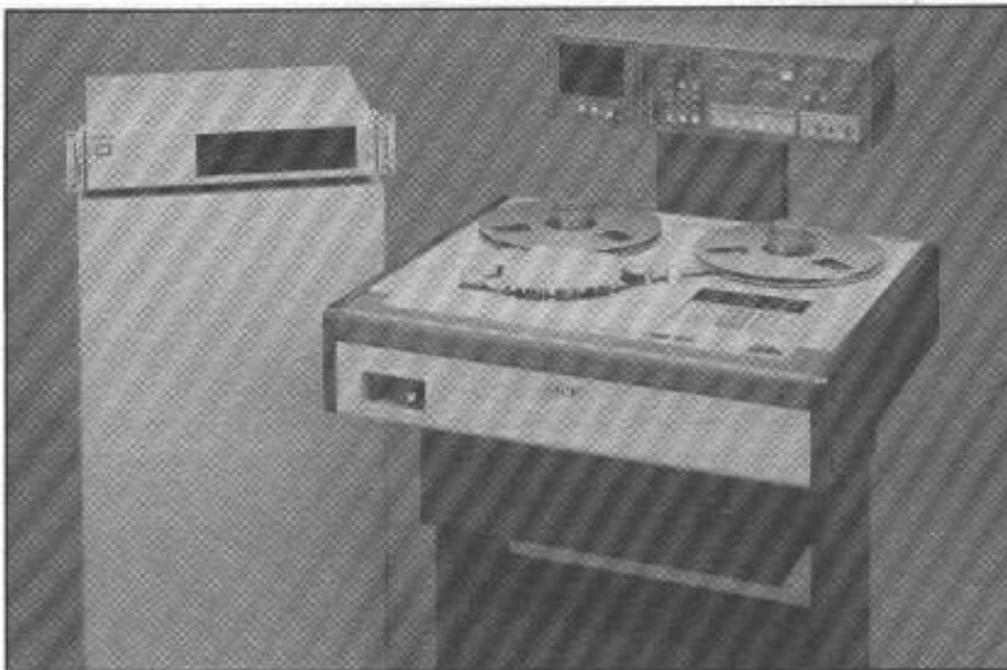


B



C

Fig. 7 : En A, linéarité de conversion en 20 bits en B en 16 bits conventionnels et en C en 16 bits avec processeur SBM. On note qu'en C on atteint en 16 bits traités SBM des résultats très proches de ceux obtenus en 20 bits.



*Fig. 8 : Enregistreur 2 pistes 20 bits sur bande magnétique 6,35 mm et bobine de diamètre 12,5". Toujours en 20 bits/2 pistes ce modèle se complète de l'enregistreur sur disque magnéto-optique de diamètre 5,25" (133 mm), assurant les mêmes durées d'enregistrement, mais sans les inconvénients liés à l'usure ou à la manipulation de la bande magnétique.*

informations tendent à se réduire, voire à disparaître en 16 bits format compact-disc, le compromis SBM proposé par Sony apparaît comme excellent. Il ne sera sans doute pas le dernier car les concurrents, tels le HDCD cité plus haut, ou bien encore le 20 bits K2 "High Quality Sound" de JVC sont déjà aux troussees de Sony. L'important reste de progresser, d'apprendre à conserver de mieux en mieux les interprétations, ne serait-ce que pour mieux servir les générations futures.

A propos de limites à ne pas dépasser, citons une anecdote concernant cette fois la restauration, grâce aux dernières techniques numériques, de vieux films. Au Japon, des spécialistes de l'image numérique ont réussi à restaurer de façon spectaculaire un extrait d'un film de Charlie Chaplin. En visionnant ce court extrait extraordinairement bien restauré, la disparition des rayures, du grain, le gain en netteté, l'ajout de la couleur, ainsi que la disparition des mouvements saccadés (dûs à la création d'images intermédiaires obtenues par

synthèses successives), beaucoup de critiques se déclarèrent franchement déçus, estimant que l'on avait été "trop loin", que tout le charme de "Charlot" avait pour ainsi dire "disparu"... Pour en revenir au SBM, cette petite anecdote semble n'avoir nullement empêché des milliers de mélomanes d'apprécier pleinement cette fois les enregistrements de Bach par Glenn Gould, que certains ont même trouvé "remarquables" comme s'ils avaient été enregistrés hier"...



*Pochette du disque-test Sony "CD 10<sup>e</sup> anniversaire" faisant usage de l'enregistrement en 20 bits et du processeur SBM.*

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**



# LES HAUT-PARLEURS IONIQUES

(suite et fin)

**C**

*et article achève la saga dédiée aux transducteurs à décharge couronne ; nous passerons en revue les quelques réalisations utilisant des fils au lieu de pointes comme électrodes sous contrainte, et nous terminerons cette série par une modélisation mathématique approchée du champ de pression sonore (en champ libre) produit par de tels transducteurs.*

**d) Transducteurs à fils :** il existe des réalisations utilisant comme électrodes sous contrainte, non plus des pointes, mais des fils très fins tendus, le long desquels se produit l'ionisation ; le but étant de pouvoir réaliser, de manière beaucoup plus simple et économique qu'avec des pointes associées à des résistances, des transducteurs de grande dimension sous forme de panneaux : dans cette structure, une série de fils fins sont alors tendus

parallèlement entre eux et à une contre-électrode plane grillagée ; l'inconvénient est le manque de stabilité d'une décharge couronne, même négative autour d'un fil fin : en effet, au-delà de la tension de seuil, on trouve une zone de tension où la décharge s'effectuant régulièrement le long du fil, est stable : c'est la zone de décharge évanescence ; si l'on augmente encore la tension entre le fil et la contre-électrode, la décharge se concentre

subitement en un point du fil (visible dans l'obscurité, sous la forme d'une petite zone violette), qui court le long du fil dans tous les sens en émettant un bruit de "scratch" assez important ; ceci ne se produit évidemment pas avec une pointe où la décharge, par définition, est localisée à l'extrémité de la pointe, bien qu'encore, si cette extrémité comporte des aspérités au lieu d'un bon état de surface, la décharge sera bruyante ; malheu-

reusement, dans cette zone de décharge évanescence (qui peut être élargie en enrobant les fils de substances chimiques appropriées stabilisant la décharge), le taux d'ionisation et le courant ionique, donc le niveau sonore, sont faibles ; ceci est compensé, il est vrai, par la grande dimension des transducteurs ; bien entendu, il n'est plus besoin d'utiliser des résistances stabilisatrices en série avec les fils ; deux autres inconvénients doivent être notés : d'une part, le manque de rigidité des fils qui peut produire des vibrations parasites et, d'autre part, l'impossibilité d'envisager d'autres géométries que des panneaux plans.

Deux réalisations utilisent cette technologie :

- le haut-parleur expérimental de Henri-Jean Doucet (voir [16] ; l'auteur préconise d'enduire les fils d'une matière faiblement radio-active afin de faciliter l'ionisation,

- les panneaux "Toltèque" de la Société AHL : ces panneaux comportent un réseau de fils parallèles, associé à un système complexe de contre-électrodes disposées en croix autour des fils : grâce à une alimentation interne haute-tension, une "membrane" ionique est créée entre les fils et deux contre-électrodes placées de part et d'autre ; deux autres contre-électrodes acoustiquement transparentes, placées perpendiculairement par rapport aux deux premières, et commandées en tension par un transformateur-élévateur, à la manière d'un H.P. électrostatique, assure la modulation, en déviant la trajectoire des ions ; d'après le constructeur, le niveau sonore en chambre sourde, à 1 m dans l'axe, s'établit à 103 dB, en utilisant un amplificateur de 500 W ; la décharge autour du fil, s'effectuant indépendamment de la modulation, peut rester dans une zone de stabilité.

### 3. Bilan

En résumé, les T.D.C possèdent les avantages et inconvénients suivants :

#### a) Avantages :

- absence de membranes et dispositifs mécaniques vibrants (avec une réserve, toutefois, pour les transducteurs à fil), donc pas d'inertie mécanique, de modes propres de vibrations (fragmentation) des membranes ;

- absence de coffrets, enceintes, baffles ou pavillons, susceptibles d'apporter des colorations : ce type de transducteur fonctionne un peu à la manière d'une antenne dont, d'ailleurs, il a l'aspect ;

- bande passante intégrale, couvrant largement la bande audio ;

- possibilité d'utiliser une commande électronique directe en courant de conception simple, pouvant être numérique (sauf pour les transducteurs à fils) ;

- grande linéarité (faible THD), même à haut niveau, du moins pour les T.D.C utilisant des pointes avec commande en courant ;

- possibilité d'envisager n'importe quelle géométrie (sauf pour les transducteurs à fils), voire même d'obtenir, en fragmentant le transducteur en petites parties commandées séparément, une source à directivité contrôlée (voir chapitre suivant) ;

- niveau sonore élevé (pour les transducteurs à pointes) et plage dynamique importante, couvrant théoriquement la zone 0-120 dB ;

- absence de bruits de décharges, si le transducteur a été conçu suivant les règles de l'art.

#### b) Inconvénients :

- importante consommation d'énergie, due à l'entretien de la décharge couronne (entre 1 W et 2 W par pointe) : à cet égard, la notion de rendement acoustique des T.D.C n'a guère de sens, la consommation d'énergie moyenne étant indépendante du niveau sonore reproduit (sauf dans le cas de structures push-pull non polarisées en classe A linéaire, comme je l'avais envisagé dans [5]) ;

- existence d'un vent ionique, si la structure n'est pas symétrique ;

ce fait ne constitue pas à proprement parler un inconvénient, mais plutôt un effet indésirable, parfaitement gérable compte tenu de la faible vitesse aérodynamique ;

- forte production d'ozone : elle peut atteindre 10 g/kW/h, ce qui est considérable, quand on sait que le gaz s'avère, à haute dose, dangereux pour la santé ; une solution, qui m'a été donnée par Jean Hiraga, consiste à envelopper le transformateur par un film mince (1 à 2  $\mu\text{m}$  d'épaisseur), en mylar ou équivalent, mais **non tendu**, afin de ne pas provoquer une rupture d'impédance acoustique (et transformer ainsi un T.D.C en haut-parleur à membrane) ; cette méthode est couramment utilisée pour les H.P. électrostatiques, afin de protéger la cellule de l'humidité externe, ou l'utilisateur, dans le cas d'un casque électrostatique, et n'apporte aucune perturbation sur le plan auditif ;

- utilisation de haute-tension à une puissance dangereuse : d'où nécessité de concevoir ces transducteurs suivant des normes de sécurité très strictes ;

- possibles émissions de perturbations électromagnétiques et électrostatiques : prévoir un blindage efficace.

## IV - Modélisation mathématique du champ de pression acoustique du T.D.C.

Les T.D.C. étant de purs dipôles acoustiques, la pression acoustique  $P(M)$  en un point  $M(x, y, z)$  de l'espace produit par un T.D.C. est solution de l'équation de Helmholtz avec second membre :

$$\Delta P + kP = \text{div } \vec{F}$$

(où  $\Delta$  est le laplacien en dimension 3,  $k = \frac{\omega}{c}$  le nombre d'onde,

où  $\omega = 2\pi f$  est la pulsation,  $f$  étant la fréquence et  $c = 340 \text{ m/s}$  la

célérité du son dans d'air, et

$$\operatorname{div} \vec{F} = \frac{\delta F_x}{\delta x} + \frac{\delta F_y}{\delta y} + \frac{\delta F_z}{\delta z}$$

la divergence du champ de forces ioniques  $\vec{F}$  : il est clair que l'on ne prend en compte ici que la composante alternative des forces ioniques, de sorte que si  $\vec{\mathfrak{I}}$  est le champ de vecteurs courants des ions, on a  $\vec{\mathfrak{I}} = \vec{\mathfrak{I}}_0 + \vec{\mathfrak{I}}_1 e^{i\omega t}$ , les champs  $\vec{\mathfrak{I}}_0$  et  $\vec{\mathfrak{I}}_1$ , indépendants du temps  $t$ , étant respectivement la composante continue et l'amplitude de  $\vec{\mathfrak{I}}$ , on a

$$\vec{F} = \frac{I}{\mu} \vec{\mathfrak{I}}_1 e^{i\omega t}$$

où  $i^2 = -1$  et  $\mu$  est la mobilité des ions) ; l'hypothèse suivant laquelle les champs  $\vec{\mathfrak{I}}_0$  et  $\vec{\mathfrak{I}}_1$  sont indépendants du temps et de la fréquence peut être considérée comme raisonnable, dans la mesure où, dans une décharge pointe-plan, la répartition du courant de décharge est relativement indépendante de la valeur de ce courant (voir [20] et [21]).

Si le domaine  $\vartheta$  où s'exercent les forces ioniques est fini, la solution de l'équation d'Helmholtz pour les ondes divergentes, monochromatiques de pulsation  $\omega$  et s'annulant à l'infini, est donnée par la formule :

$$P = G_k * \operatorname{div} \vec{F} \quad (4)$$

où  $*$  est le produit de convolution (voir [3]) de la distribution à support compact  $\operatorname{div} \vec{F}$  par la distribution tempérée  $G_k$  (solution élémentaire, au sens des distributions, de l'équation d'Helmholtz), donnée par :

$$G_k(M) = -\frac{I}{4\pi} \frac{e^{-ikr}}{r}$$

avec  $r = |\vec{OM}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ .

Si  $F_x$ ,  $F_y$  et  $F_z$  composantes du vecteur  $\vec{F}$  sont des fonctions intégrables, la formule (4) peut s'écrire (voir [5]) :

$$P(M) = -\frac{I}{4\pi} \iiint_{\vartheta} \frac{e^{i\omega \left( t - \frac{|M-u|}{c} \right)}}{|M-u|} \cdot \left( \frac{I}{|M-u|} + ik \right) \frac{M-u \cdot \mathfrak{I}_1(u)}{|M-u|} du$$

Ces calculs ne sont valables que si le T.D.C. travaille en champ libre infini, à une fréquence fixe  $f$ , en l'absence de toutes surfaces "mouillées" par les ondes sonores, telles que baffles, parois, pavillons, etc.

Calculons cette intégrale dans quelques cas théoriques :

- **T.D.C. de forme plan infini** (fig. 12) :

$\delta$  = distance interélectrodes

$d$  = distance du point M au plan médian entre les électrodes.

Les lignes de courant sont supposées parallèles ;  $\vartheta$  est le volume entre les électrodes ; bien que  $\vartheta$  soit infini, l'intégrale de la formule

(5) est convergente, et les calculs donnent alors :

$$P(M) = \frac{\mathfrak{I}}{\mu} \cdot d \cdot e^{i\omega \left( t - \frac{d}{c} \right)} \cdot \frac{\sin(k\delta/2)}{k\delta/2}$$

où  $\mathfrak{I}$  est la densité surfacique de courant ; on reconnaît une onde plane progressive, s'éloignant du transducteur ; la courbe de réponse est représentée fig. 13.

On constate une infinité de fréquences, de valeurs  $\frac{c}{\delta}$ ,  $2\frac{c}{\delta}$ , ...

$n\frac{c}{\delta}$ , ..., où la pression s'annule

avec inversion de phase ; si on prend  $\delta=1$  cm (cas considéré au chap. III, § 1), on obtient

$$\frac{c}{\delta} = 34 \text{ kHz} :$$

il n'y a donc pas annulation ni inversion de phase dans la bande audio ; dans la réalité les choses ne se

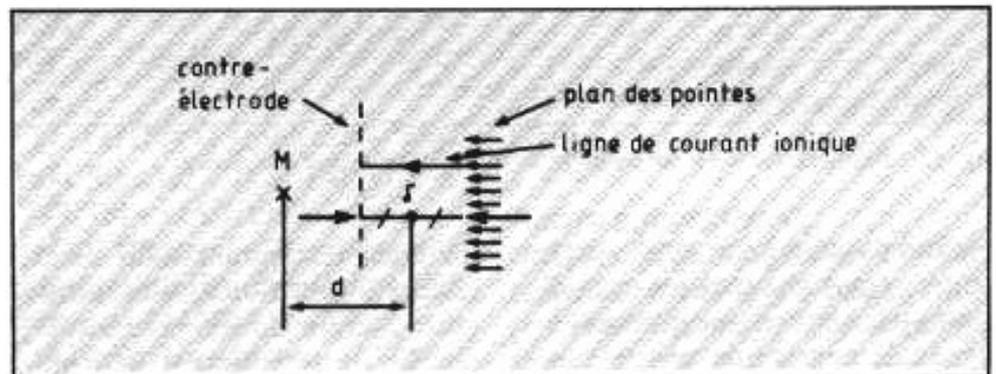


Fig. 12 : Plan en coupe d'un T.D.C. plan infini.

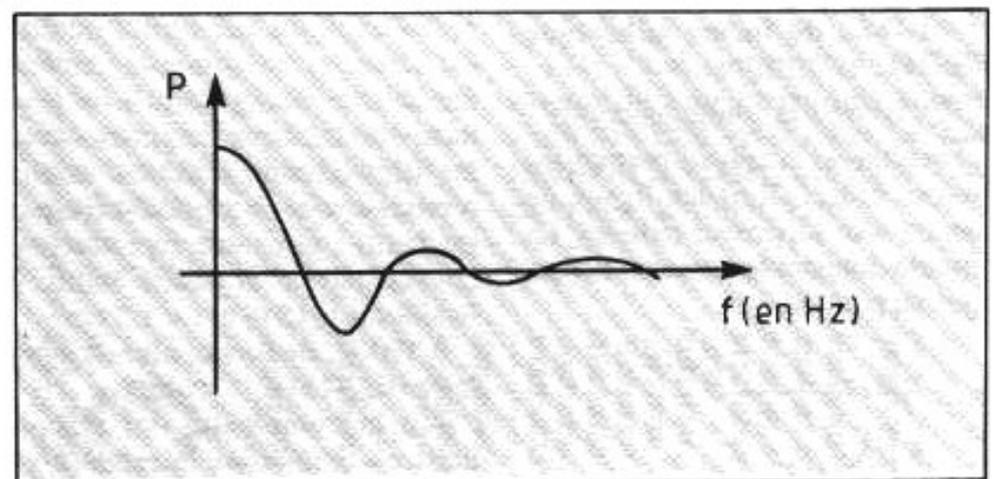


Fig. 13 : Courbe de réponse du transducteur plan infini.

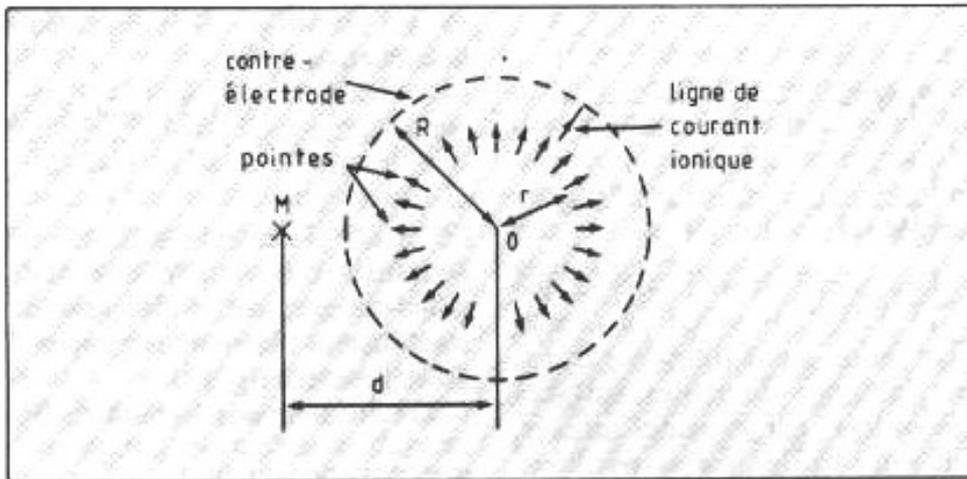


Fig. 14 : Vue en coupe schématique d'un T.D.C. de forme sphérique.

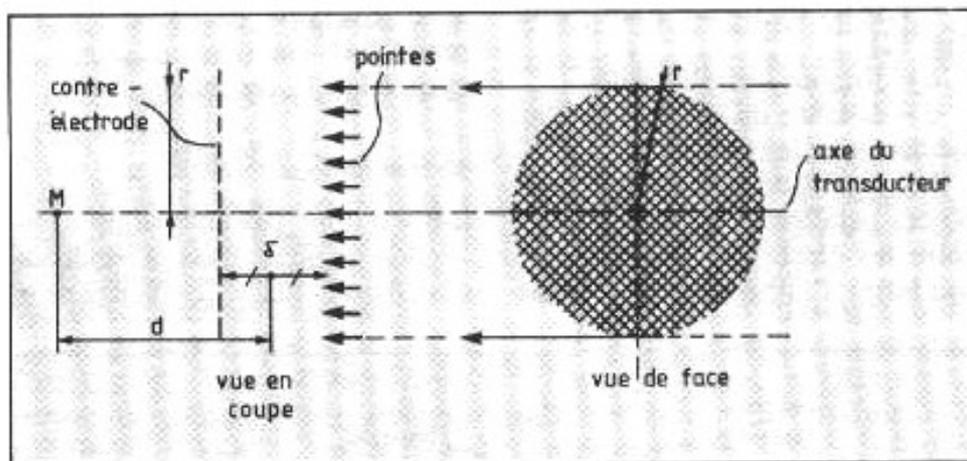


Fig. 15 : Représentation d'un transducteur de forme plane circulaire.

passent pas tout à fait ainsi, car, les pointes étant séparées les unes des autres par une certaine distance, les lignes de courant ne peuvent être parallèles entre elles : la courbe de réponse est beaucoup plus régulière, et ne présente pas d'annulation.

- **T.D.C. de forme sphérique** (fig. 14) :

$R$  = rayon de la contre-électrode

$r$  = rayon de la sphère portant les pointes avec  $r < R < d$  les lignes de courant sont supposées radiales. La formule donnant la pression acoustique au point  $M$  est :

$$P(M) = \frac{I}{4\pi\mu d} e^{i\omega\left(t - \frac{d}{c}\right)} \left[ \frac{\sin(kr)}{kr} - \frac{\sin(kR)}{kR} \right]$$

où  $I$  est le courant total de décharge, ou, plutôt, l'amplitude crête-à-crête de ce courant ; la courbe de réponse est délicate à tracer ; on constate que pour  $k=0$ ,  $P$  s'annule : cette structure ne passe donc pas la fréquence nulle, et donc mal les fréquences basses ; ceci s'explique par le fait qu'elle est close, et se compose comme une source monopolaire ; on peut aussi constater que les graves (resp. les aigus) sont d'autant mieux reproduits que  $R$  est grand (resp.  $r$  est petit) ; pour une reproduction convenable de la bande audio, il faudrait  $R > 15$  m et  $r < 1,5$  cm.

- **T.D.C. de forme plane circulaire** (fig. 15) :

Vu la complexité des calculs nous ne donnerons la réponse en pression d'un tel transducteur qu'en un point de l'axe de ce

dernier, situé à une distance  $d$  du milieu de l'axe inter-électrodes ; nous obtenons alors, si  $I$  est l'amplitude crête-à-crête du courant de décharge :

$$P(M) = \frac{I}{2\pi\mu r^2} e^{i\omega\left(t - \frac{d}{c}\right)} \left[ \delta \frac{\sin(k\delta/2)}{k\delta/2} + \frac{i}{k} \left( -e^{-ik\left(\frac{r^2 + \delta^2/4 - d\delta}{\sqrt{C^2 - d\delta} + d}\right)} - e^{-ik\left(\frac{r^2 + \delta^2/4 + d\delta}{\sqrt{C^2 + d\delta} + d}\right)} \right) \right]$$

en posant  $C^2 = d^2 + \frac{\delta^2}{4} + r^2$ .

- Approximation en champ lointain :

Cette formule, passablement compliquée, peut être simplifiée si  $M$  est "loin" du transducteur, c'est-à-dire si  $d$  est bien supérieure aux dimensions  $\delta$  et  $r$  du transducteur ; dans ce cas, en réalisant les approximations :

$$\sqrt{C^2 \pm d\delta} + d = 2d$$

et

$$1 - e^{-i\alpha} = i\alpha$$

( $\alpha$  petit), on a la formule approchée suivante :

$$P(M) = \frac{I\delta}{4\pi\mu d} i k e^{i\omega\left(t - \frac{d}{c}\right)} \left( I + \frac{\delta^2}{4r^2} \right) \frac{\sin(k\delta/2)}{k\delta/2}$$

On constate, ce qui peut paraître paradoxal, que lorsque la fréquence, et donc le facteur  $k$ , tend vers 0, alors la pression acoustique tend vers 0, ce qui semble contredire le fait qu'un tel transducteur "passe le continu" ; en fait, souvenons-nous qu'il s'agit d'une approximation et que, loin du transducteur, la pression continue sera très faible. Autre constatation : la pression acoustique en champ lointain est en quadrature avec le signal.

### - Transducteur à directivité contrôlée

A l'instar des radars militaires modernes, en fragmentant un T.D.C. en petite parties commandées individuellement suivant un traitement du signal approprié, et en jouant sur la géométrie de l'ensemble, il devrait être possible de réaliser un transducteur rayonnant un faisceau conique dont l'angle d'ouverture soit à peu près constant dans une large plage de fréquences (fig. 16), réalisant ainsi un pavillon fictif : l'énergie sonore serait alors concentrée dans ce faisceau (meilleur rendement), ce qui permettrait aussi de s'affranchir dans une large mesure des caractéristiques du local d'écoute.

### Bibliographie

- [1] **Leonard B. Loeb** : "Electrical Coronas", University of California Press, Berkeley, 1965.
- [2] **R.S. Sigmund** : "Mass transfer in Corona discharges". Journées CNRS-PIRSEM de l'ARC Chimie des plasmas. Ed. Masson - Paris.
- [3] **Laurent Schwarz** : "Méthodes mathématiques pour les Sciences Physiques". Ed. Hermann - Paris.
- [4] **Michel Bruneau** : "Introduction aux théories de l'acoustique". Publications de l'Université du Maine.
- [5] **Alain Deraedt** : "Electroacoustic transducer using corona effect". Preprint AES 3037 (F2), fév. 1991.
- [6] **Siegfried Klein** : "Un nouveau transducteur électroacoustique : l'ionophone". Acustica (vol. 4) - 1954.

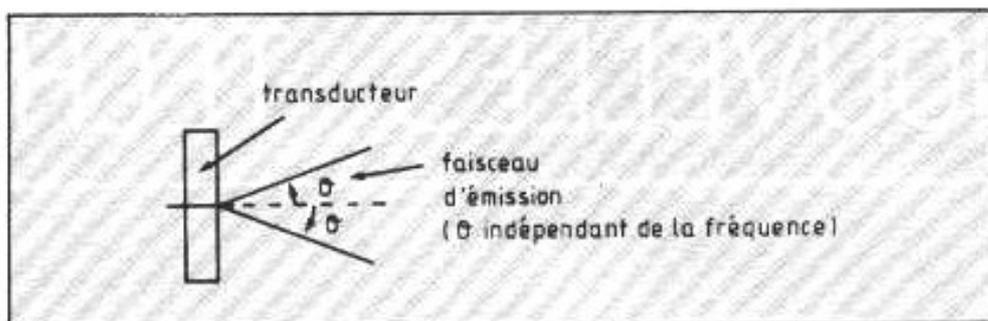


Fig. 16 : Esquisse d'un transducteur à directivité contrôlée.

[7] **François Bastien** : "Acoustics and gas discharges: applications to loudspeakers". J. Phys. D, Appl. Phys. 20 - 1987.

[8] **Gerald Shirley** : "The Corona Wind Loudspeaker". J. of AES, vol. 1-25 - jan. 1957.

[9] **Kūchiro Matsuzawa** : "Sound sources with corona discharges". J.A.S.A., vol. 54, n° 2 - 1973.

[10] **Pascal Artaz** : "Les transducteurs électroacoustiques plasma à effet couronne", exam. prob. du 21/5/1991, CNAM-Paris.

#### Brevets

[11] **Halus et Holcomb** : "Ionic Triod Speaker", U.S. Pat. Off. n° 2.793.324 - 21/05/1957.

[12] **Walter** : "Koronaphon", Bundesrepublik Deutsches Patentamt n° 2115544, 5/10/72.

[13] **Sellingson** : "Ionic Electroacoustic Transducer", U.S. Pat. Off. n° 3.476.887, 4/11/1969.

[14] **Klein** : "Electroakustischer Wandler", Europe Patent Anmeldung n° 0 017886 - 29/10/80.

[15] **Bondar** : "Procédé et dispositif pour transformer une tension électrique périodique BF en ondes acoustiques ou inversement".

INPI France n° 81-10386 - 21/05/81.

[16] **Doucet** : "Haut-parleur à plasma à très large bande". INPI France n° 73-30746 - 24/08/73.

[17] **Matériel Téléphonique** : "Procédé et arrangement pour enregistrer et reproduire les ondes sonores". Dir. Prop. Indust. France n° 594.174 - 13/02/25.

[18] **Valois Distribution** : "Transducteur électroacoustique à émission d'ions". INPI France n° 84-02294 - 15/02/84.

[19] **Deraedt et Sté Caso** : "Transducteur électroacoustique". INPI France n° 87-05223 - 13/04/87.

#### Autres publications :

[20] **R.S. Sigmund** : "The unipolar corona space charge flow problem", Journal of Electrostatics, 18 (1986), pp. 249-272.

[21] **J.E. Jones, M. Davies, A. & M. Goldman** : "A simple analytic alternative to Warburg's law". Journal Physic D 23 (1990), pp. 542-552.

[22] "Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions", Coll. de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, Eyrolles, 1984.

**Page non  
disponible**

# HDCD™

## La Haute-Définition pour le Compact-Disque

Jacky Mas



*I* l y avait la HDTV, voici le HDCD...

*Tout devient Haute Définition, et le numérique n'échappe pas à la règle, qu'il s'agisse de l'image ou du son. Si, au début de la précédente décennie, la morosité envahissait les revendeurs de matériel Haute-Fidélité, ces dernières années ont totalement bouleversé le paysage audio et vidéo. L'amélioration constante de la qualité des disques compacts, l'introduction des Processeurs de Signal (DSP) à des prix de plus en plus compétitifs, l'arrivée des DAT et de la DCC, puis du Mini-Disque avec le développement concomitant des techniques de compression d'information ATRAC et PASC, qui peut dire actuellement quelle sera la tournure que vont prendre les événements dans les toutes prochaines années. D'autant que quelques empêcheurs d'écouter en rond tentent maintenant de remettre en question LE standard numérique actuel (67% des ventes mondiales de musique enregistrée l'année dernière) : le CD. Malgré le secret qui entoure l'annonce de ce nouveau produit, nous tentons de vous le présenter dans les lignes qui suivent...*

### Introduction

Anna Case, une célèbre soprano du début de ce siècle, déclarait après avoir entendu l'enregistrement de sa propre voix par la machine du génial M. Edison, qu'il était impossible d'entendre une différence entre la création du célèbre inventeur et le son qui sortait de ses lèvres. Certes, une telle affirmation nous fait sourire aujourd'hui.

Pourtant, lorsque les créateurs du disque compact annonçaient au début des années 80 que le summum de la reproduction musicale domestique venait d'être atteint, la très grande majorité de nos contemporains acceptèrent cette nouvelle avec probablement le même sérieux dont fit preuve Mlle Case en 1915. Trois catégories d'individus cependant tentaient de

tempérer l'enthousiasme ambiant : les audiophiles invétérés, qui prétendaient percevoir une très nette supériorité des enregistrements analogiques par rapport à la montagne de chiffres gravés sur les petites galettes argentées, les musiciens qui, eux, ne connaissent que la version analogique de la musique et étaient donc bien placés pour évaluer ce que faisaient les

techniciens de leurs œuvres, et les spécialistes en traitement du signal qui, eux, savaient parfaitement comment les choses se passaient en pratique. Lorsque vous avez la (mal)chance d'appartenir simultanément à deux de ces catégories d'individus au moins, croyez-moi votre désarroi est grand. Les artistes ont à maintes reprises critiqué le rendu du numérique, tout récemment le chanteur Neil Young écrivait dans un éditorial de la revue américaine *Guitar Player Magazine* que le numérique était complètement dans l'erreur et que tout cela n'était qu'une immense farce. Au surplus, l'insulte suprême pour certains spécialistes était de claironner qu'un enregistrement "sonnait" comme un disque compact de type DDD.

Et pourtant, tout allait pour le mieux dans le meilleur des mondes, puisque Sony avait obligé Philips à abandonner son encodage du signal sur 14 bits pour passer à 16 bits, grâce aux brevets que détenait le constructeur nippon pour les systèmes correcteurs d'erreurs. Le sur-échantillonnage d'abord, puis l'amélioration des convertisseurs digitaux analogiques et des algorithmes (MASH, Bit-Stream, etc.), puis l'encodage 20 bits de Sony (encore lui !) démontraient clairement que le summum de la qualité de reproduction qu'évoquaient les promoteurs du CD en particulier et du numérique en général n'était pas vraiment atteint. Si "la victoire se profilait à l'horizon", ce dernier demeurait une "ligne imaginaire qui recule au fur et à mesure que l'on avance".

## Les causes du mal

Le responsable d'une partie de nos tracasseries est... le théorème de Shannon-Whittaker. En effet, vous savez tous que l'oreille humaine entend les sons dont la fréquence est comprise entre 20 Hz et 20.000 Hz. Ce qui est moins trivial, c'est que la numérisation d'un signal analogique présente des contraintes, en particulier, et le fa-

meux théorème mentionné ci-dessus nous l'impose, qu'il est impératif de réaliser cette numérisation à **une fréquence double de la plus haute fréquence contenue dans le signal**. Si, pour des raisons de sécurité, la plus haute fréquence audible est choisie à 22.050 Hz (donc au-delà des 20 kHz fatidiques que peut percevoir l'oreille humaine), alors la fréquence d'échantillonnage du signal devra être de... 44.100 Hz. Dans le monde réel, aucun son complexe ne présente cette limitation artificielle : les harmoniques d'un signal peuvent très bien s'observer au-delà de ces 22 kHz : demandez à votre analyseur spectral habituel, il vous le confirmera. Il est vrai que la technologie de l'époque ne permettait pas, pour un prix raisonnable, de passer à des fréquences d'échantillonnage bien supérieures à celle qui fut retenue.

L'autre source de nos ennuis est la quantification des échantillons. En effet, puisque nous avons découpé notre précieux signal analogique en une suite discrète, après avoir choisi le niveau maximal de sortie, il va bien falloir attribuer, également de façon discontinue, une valeur numérique à chaque valeur de tension du signal numérisé. Après avoir commencé en 14 bits, la quantification des échantillons passa aux fameux 16 bits préconisés par Sony. Il est facile de montrer que ces 16 positions binaires ne peuvent coder que 65.535 valeurs de tension différentes ( $2^{16} - 1$ , car une des positions possibles est réservée au zéro volt). Vous conviendrez facilement que des difficultés de quantification sont susceptibles de survenir entre deux niveaux numériques, puisque le signal analogique est continu. Cela ne serait pas grave si l'oreille humaine ne permettait pas de discriminer plus de 65.535 niveaux. Il semblerait qu'en réalité elle puisse différencier jusqu'à environ 100.000 niveaux, donc au-delà de la limite pratique des CD et de tout le

numérique actuel. Les distorsions de quantification sont alors inévitables et probablement audibles d'une certaine manière.

Enfin, les faibles niveaux enregistrés n'utilisent que quelques-unes des 16 positions binaires disponibles pour chaque échantillon. Ce petit détail apparemment sans importance se révèle être à l'origine d'une augmentation sensible de la distorsion.

Malgré ces incontournables limitations, il est peu probable que le CD disparaisse du marché, car il procure dans la plupart des cas une nette amélioration de la reproduction musicale domestique. En effet, la grande majorité des auditeurs se contentait avant son avènement de mauvaises tables de lecture et de disques vinyl souvent usés jusqu'à la corde. Si des efforts louables ont été tentés pour satisfaire les exigences de qualité de certains puristes, les systèmes proposés présentaient tous l'inconvénient majeur d'être incompatibles avec le standard international. Tout comme à l'ère de l'analogique (disques 30 cm-45 tours, gravures directes, quadriphonie, etc.), toutes ces améliorations restent marginales et disparaissent les unes après les autres avant d'avoir atteint un semblant de notoriété. Le problème de la compatibilité est maintenant bien compris, comme le démontre le récent lancement de la DCC ou cassette numérique de Philips (cf. *L'Audiophile* n° 18) qui autorise la reproduction des cassettes analogiques, ce qui n'est pas le cas du DAT. Le problème qu'il fallait poser était donc : peut-on améliorer le standard numérique actuel sans le remettre en question ? C'est une petite société américaine installée à Berkeley en Californie, Pacific Microsonics, Inc., qui pense avoir trouvé la solution au dilemme.

## La haute définition et la compatibilité

Tout a commencé par la frustration qu'éprouvait le très connu

Keith Johnson de Reference Recordings, ingénieur du son, lorsqu'il écoutait le résultat obtenu lors de ses séances de studio numérique. Malgré le soin et l'optimisation de ses enregistrements, le digital lui semblait moins naturel et présentait une résolution auditive bien moindre que ses bonnes vieilles bandes masters analogiques.

Il fit part de cette frustration à un autre scientifique visionnaire, Michael Pflaumer, auteur de l'environnement TOPS qui autorise des ordinateurs à communiquer entre eux en réseau alors qu'ils utilisent des systèmes d'exploitation complètement différents.

Le principe retenu par ses inventeurs permet de jouer les HDCD™ (High Definition Compatible Digital™) sur les lecteurs actuels. La plus grande partie de "l'intelligence" du procédé est confinée en amont du système, dans le codeur. Bien entendu, pour bénéficier totalement des performances de cette innovation, l'utilisation d'un lecteur présentant les caractéristiques ad hoc est requise. Cette méthodologie présente l'avantage de réduire les coûts, puisque le codeur fait appel à des circuits DSP et à des techniques à très haute vitesse de traitement dont le prix, malgré les progrès incessants, reste élevé. Le décodeur, lui, demeure relativement

simple et fait appel à des circuits intégrés de faible coût. Le principe général du codeur est représenté sur la figure 1. Comme on peut le voir, la taille des mots codant les échantillons est probablement supérieure aux traditionnels 16 bits. Par conséquent, une compression doit être réalisée à un niveau ou à un autre du processus, probablement en tenant compte de certaines contraintes psychoacoustiques, ce qui était déjà le cas des techniques ATRAC du Mini-Disque et PASC de la cassette DCC. Cependant, aucune information sur le procédé n'est disponible pour le moment.

Pour atteindre le but fixé, cinq années de travail ont été nécessaires, ce qui explique les précautions dont s'entourent les inventeurs du procédé quant aux aspects techniques qui le caractérisent. Ils ont tout d'abord identifié les sources de distorsion de la reproduction numérique, puisqu'ils pensaient qu'en réalité elles n'étaient pas bien comprises, voire complètement ignorées par les spécialistes en traitement du signal trop attachés qu'ils étaient dans l'ensemble à l'aspect théorique des choses. Ils se sont intéressés également aux artefacts additifs causés par le processus de codage/décodage des CD traditionnels, à l'origine selon les auteurs d'un son "congestif", dur et irritant. Ils mentionnent enfin des

distorsions "soustractives" dues à l'insuffisance de données des 44,1 kHz-16 bits du codage PCM des CD comme nous le rappelions un peu plus haut, cela aurait pour conséquence un son stérile et peu enthousiasmant, une perte de profondeur et d'espace sonore, un caractère parfois artificiel et un timbre dénaturé des instruments.

Le système HDCD™ a donc été développé avec ces trois objectifs : éliminer les distorsions additives et rendre négligeables (au sens d'inévitables bien sûr) les distorsions qualifiées par les auteurs de "soustractives", tout en maintenant une parfaite compatibilité avec le standard international. Selon Michael Ritter, président de Pacific Microsonics, Inc., le résultat obtenu est un CD ne présentant pratiquement aucune distorsion et capable d'une résolution au moins égale aux meilleures bandes masters analogiques, toujours compatible avec la totalité du parc existant de lecteurs numériques.

Des codeurs professionnels HDCD™ seront produits par la société américaine et disponibles au début de l'année prochaine. Les décodeurs seront obtenus, à peu près au même moment que les codeurs, sous licence non-exclusive par les constructeurs intéressés afin de les inclure dans leur propre gamme de lecteurs.

Dans l'intervalle, Pacific Microsonics mettra à disposition des prototypes de codeurs pour réaliser l'enregistrement d'œuvres musicales présentant un caractère artistique et des qualités sonores particulièrement exceptionnels. Quelques titres codés selon le procédé HDCD™ sont d'ores et déjà disponibles : *Testament* (musique chorale américaine), *Dick Hyman Plays Duke Ellington*, *Trittico* (avec Frederick Fenell et Dallas Wind) et *The Oxnard Sessions, Vol. II* (avec le Trio de Mike Garson). En France, c'est Audio-Quartet qui sera le distributeur des disques CD codés selon ce procédé.

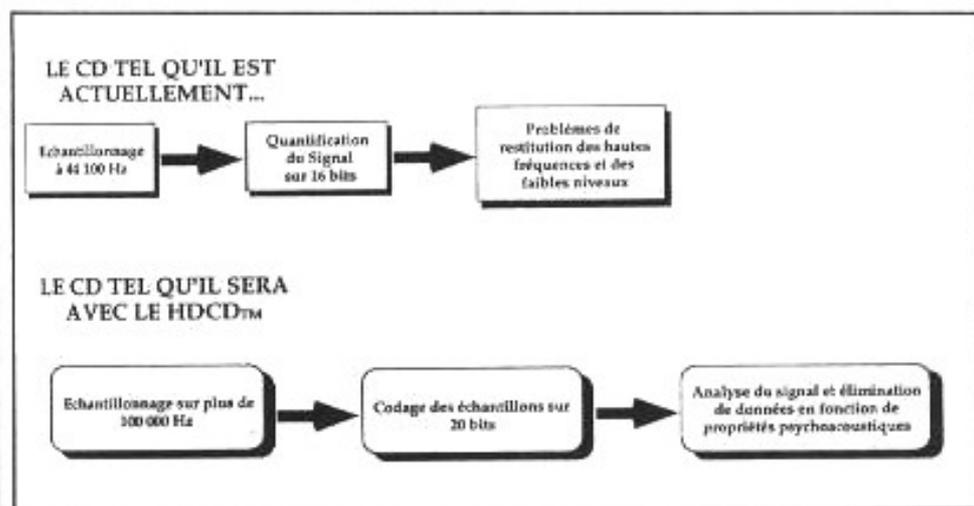


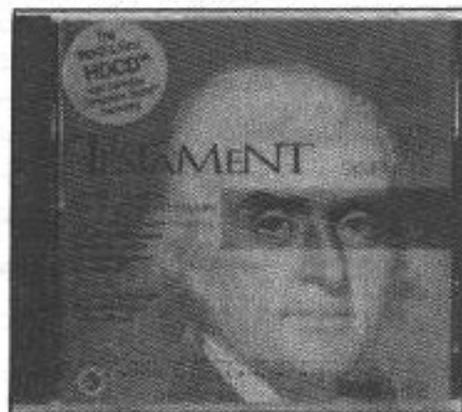
Fig. 1 : Le CD tel qu'il est actuellement... Le CD tel qu'il sera avec le HDCD™.

## Et l'écoute ?

Malheureusement peu nombreux sont ceux qui ont eu la chance de pouvoir écouter l'ensemble codeur-décodeur. Encore plus rares ceux qui ont pu effectuer des comparaisons avec des bandes-mères. Si l'on se fie à ceux qui ont eu ce privilège, il semblerait que la qualité de restitution est telle qu'il soit presque impossible de faire la différence entre la bande et le CD codé. En conséquence, ces derniers sonneront beaucoup mieux que nos vieux vinyles auxquels certains d'entre nous s'accrochent encore désespérément.

Avec ce nouveau procédé, la musique redevient vivante, la scène est en place avec sa profondeur, la salle retrouve des qualités propres de réverbération et de texture, les instruments sonnent avec plus de naturel et de vérité, finalement l'ensemble gagne en crédibilité et en authenticité.

Si les vertus que prêtent les inventeurs du procédé et ceux qui ont pu, en avant-première, écouter et comparer le HDCD™ s'avèrent exactes, l'ère de l'analogique s'achève. En effet, les trois populations dont nous parlions au début de cet article, encore réticentes au digital, n'auront plus de reproches à formuler, et même si vous avez quelques difficultés avec les chiffres, vous n'aurez plus d'alternative... il vous faudra vous résoudre à écouter en numérique, et la promesse faite par Philips et Sony se réalisera, ce sera enfin le "son le plus parfait qu'il vous ait été donné d'entendre !"



**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**



# A L'ECOUTE DU JITTER

## SYSTEME ET TRANSMISSION NUMERIQUES

*Philippe Miche  
Patrick Butler*

**U**

*ne décade s'est écoulée depuis l'introduction auprès du grand public du disque compact CD et des lecteurs audio-numériques associés. La suprématie acquise par ce nouveau support aux dépens des disques analogiques est incontestable. Il suffit pour s'en convaincre de se promener parmi les bacs de nos disquaires pour constater la place réservée aux uns et aux autres.*

*La situation observée pour l'une des sources de base laisse augurer de ce qui va se passer pour les autres sources audio traditionnelles, c'est-à-dire les récepteurs radio et les enregistreurs-lecteurs à bande ou cassette qui, dans leur très grande majorité, sont encore des équipements analogiques.*

*Tôt ou tard, tuners et magnétos seront numériques.*

*Cette perspective d'une chaîne audio où l'ensemble des sources de programme aura troqué son origine analogique pour être traité numériquement apparaît aujourd'hui inéluctable. Cela ne se fera pas sans bouleverser les archétypes de la haute-fidélité et modifier l'idée que nous nous faisons d'une chaîne haute-fidélité et de l'organisation de ses différents maillons. Dans cette chaîne audio-numérique à venir, les problèmes liés au transport de l'information musicale codée numériquement seront prépondérants pour obtenir le meilleur de ces dispositifs. Cet article est donc essentiellement consacré à la transmission numérique.*

C'est un fait, le lecteur de CD (s'est, en 1993, imposé comme la source de base de programmes musicaux de qualité.

Au point même qu'il est devenu rarissime de nous proposer aujourd'hui une platine "tourne-disque" analogique pour la constitution d'un nouveau système audio.

Pourtant, rappelons-nous, c'est tout d'abord en tant que source

supplémentaire que l'intégration du lecteur de CD s'est faite progressivement dans nos systèmes.

Il suffisait de connecter ce nouveau maillon à une des entrées haut niveau marquée habituellement "AUX" des préamplificateurs de l'ère "pré-CD". En attendant que le sélecteur de source de leur façade n'affiche les lettres "CD" devenues magiques et, en tout cas, présentées

comme indispensables au bon interfaçage de votre lecteur audio-numérique et comme s'il ne s'agissait d'autre chose que l'une simple entrée ligne classique.

Cependant, en y réfléchissant, à part cette addition faite à la présentation des faces avant de nos matériels, rien ou presque n'a été modifié fondamentalement sur la façon de véhiculer et de traiter les si-

gnaux audio issus des différentes sources.

En effet, à partir de l'étage de commutation des sources commun à toute section préamplificatrice, tout se passe en aval comme au bon vieux temps.

Et ce n'est pas parce que l'étage de gain et les contrôles de tonalité sont court-circuités en jouant sur une touche type "CD direct" que l'architecture des "vieux" systèmes est remise en cause. D'ailleurs, pour les adeptes du "fil droit avec du gain", pourquoi ne pas attaquer les amplis de puissance directement à partir de son lecteur de CD ?

De même, le recours à des convertisseurs numériques-analogiques soit externes, soit intégrés aux préamplis ou aux amplis et baptisés alors "numériques" de façon abusive, ne bouleversent en rien le trajet classique des signaux analogiques en aval.

Qui plus est, comme nous le verrons au cours de ce qui suit, il y a même toutes les chances pour que ces nouveaux maillons introduisent une dégradation plutôt qu'une amélioration par rapport à une platine CD avec convertisseurs intégrés où l'ensemble des opérations est cadencée par un seul circuit d'horloge maître.

Pour illustrer notre propos sur le concept développé jusqu'à présent, jetons un coup d'œil à la figure 1 ;

Dans le monde audio-professionnel, la chaîne du traitement du signal audio évolue de plus en plus vers le tout numérique. Il est devenu courant en effet de voir la numérisation du signal effectuée directement après le préampli microphone et les opérations d'enregistrement, production, mixage et traitement sont réalisées dans le domaine numérique.

## Vers le tout numérique

Cette évolution observée dans le monde professionnel touchera tôt ou tard le marché grand public. Déjà, Philips a proposé récemment

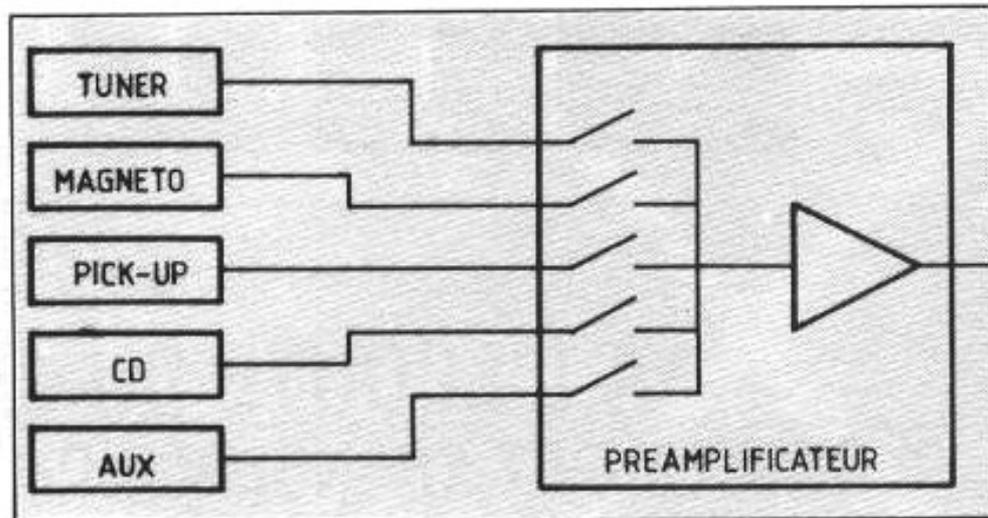


Fig. 1 : Système traditionnel. Les signaux analogiques initiaux (TU, PU, MAGN, AUX) ou convertis en analogique (CD, DAT) attaquent le sélecteur de sources du préampli.

une enceinte dite numérique, intégrant filtrage, conversion numérique-analogique, suivis des amplificateurs attaquant directement les haut-parleurs.

Ce type de système paraît très prometteur et, particulièrement, si l'on adopte une démarche audiphile. Un tel système sans compromis est schématisé en figure 2.

Il n'est pas très risqué de prévoir la généralisation dans un futur proche des sources numériques auprès du grand public, avec un déroulement comparable avec ce qui s'est passé pour le disque compact ces dernières années. Déjà, l'émission DSR (Digital Satellite Radio) de programmes radio-numériques existe depuis plusieurs années au

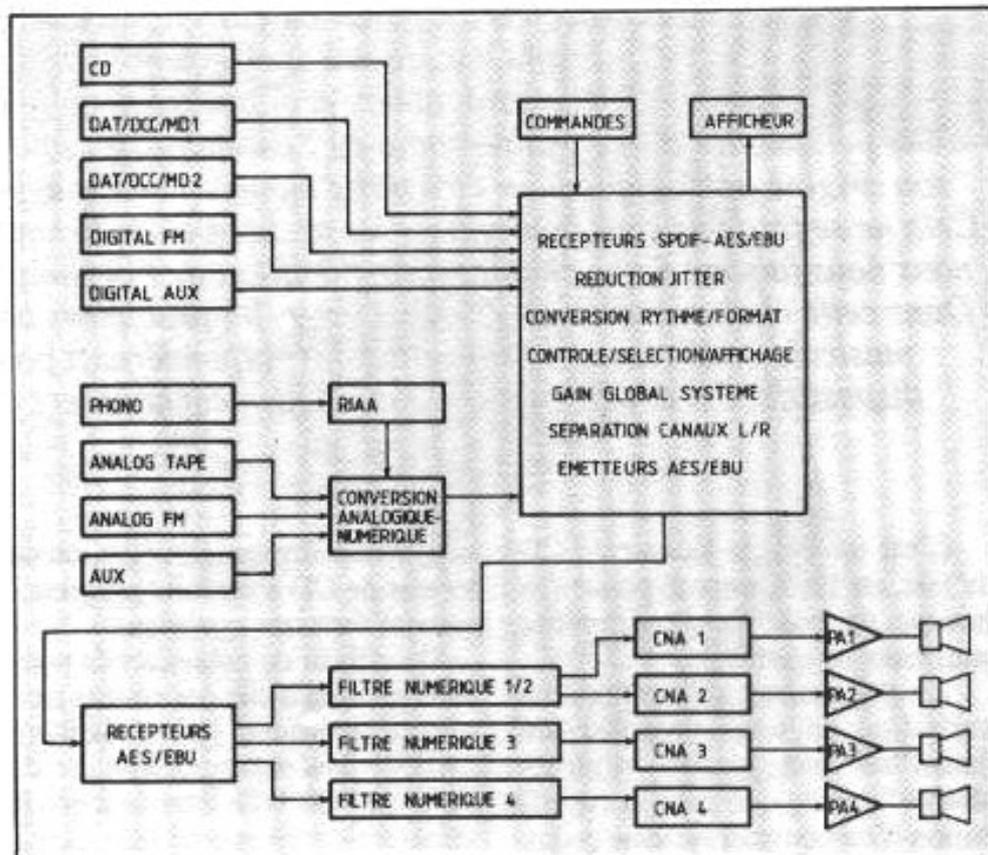


Fig. 2 : Architecture proposée pour une "chaîne numérique".

Japon ou en Europe de l'Ouest (notamment à partir du satellite Kopernikus). Côté enregistrement, si les éditeurs (CBS en tête avant d'être absorbé par Sony, mais également Philips dont la DCC n'était pas encore prête) n'avaient boycotté le système DAT (Digital Audio Tape), ce dernier aurait certainement déjà obtenu le même succès auprès du grand public que dans le domaine audio-professionnel.

Le lancement simultané il y a quelques semaines de la cassette compacte numérique DCC par Philips et du Mini-Disque MD par Sony confirme l'avènement prochain des enregistreurs numériques.

Quant à la radiodiffusion numérique, le temps d'un accord mondial sur les allocations de fréquence n'est certainement pas éloigné pour le système DAB (Digital Audio Broadcast) qui devrait permettre la réception sur antennes mobiles et, par conséquent, en voiture notamment.

Pour revenir au système de la figure 2, les nostalgiques n'ont pas été oubliés et pour assurer si besoin est le traitement des sources analogiques conventionnelles, ce sont ici ces dernières qui se voient converties dans le domaine numérique, via une carte de conversion analogique-numérique. Les sources numériques CD, DAT, radio numérique, sont dirigées vers un récepteur et organe de contrôle numérique (s'agit-il d'un préamplificateur numérique ?).

Cette unité de contrôle a pour objet les fonctions suivantes :

- réception des signaux numériques et leur remise en forme ;
- extraction de l'horloge et des données ;
- conversion éventuelle du rythme et du format des données numériques (par exemple données 16 bits/44,1 kHz converties en 20 bits/48 kHz) réalisée grâce à un tout nouveau circuit intégré d'Analog Devices, l'AD1890 sur lequel nous reviendrons ;

- atténuation du phénomène de gigue (jitter) pour réémission de signaux numériques "propres", c'est-à-dire cohérents par l'ensemble du système ;

- interface utilisateur soit les fonctions de contrôle, notamment du gain global système, de sélection, d'affichage ;

- séparation des canaux G et D et transmission des données vers les deux ensembles de convertisseurs, amplificateurs et haut-parleurs dont un seul est représenté en figure 1. Le cas échéant, la carte de conversion analogique-numérique pourra trouver sa place au sein de cette unité.

La figure 2 présente également un deuxième ensemble doté également d'un récepteur dont le format standard ou spécifique reste à définir, suivi d'un système de filtrage multi-canaux attaquant autant de convertisseurs numériques-analogiques CNA que d'ensembles haut-parleurs et amplificateurs associés.

Les avantages d'une telle conception sont nombreux. Citons en particulier :

- le dernier ensemble peut être situé au plus près de chaque groupe de haut-parleurs et limiter la longueur des liaisons véhiculant le signal en analogique à partir des étages de conversion numérique-analogique, la liaison physique jusqu'aux enceintes pourra être effectuée en numérique ;

- un filtrage multi-voies dans le domaine numérique permet les mêmes avantages qu'un système multi-amplifié avec filtrage actif par rapport à un système de HP filtré en passif, mais avec la souplesse apportée par le numérique pour prendre en compte les caractéristiques individuelles des HP, leur comportement avec la charge de l'enceinte ou bien encore l'ensemble formé avec la salle d'écoute.

Pour qu'un tel système soit optimisé, nous n'avons pas lésiné sur le choix notamment d'une des pièces maîtresses de ce dernier bloc

en optant pour le DSP 32/40 bits en virgule flottant le plus puissant du marché, l'ADSP-21020KG-133 doté d'une capacité de calcul de 100 MFLOPS soit 100 millions d'opérations en virgule flottante par seconde - il est vrai que, étant donné que nous travaillons pour Analog Devices, le choix et l'obtention de ce type de composants et les moyens de leur mise en œuvre sont évidemment facilités. Mais nous aurons l'occasion de reparler de cette "bête" de calcul ultérieurement.

Avant d'aborder les questions de calcul, les conditions de fonctionnement idéales d'une telle approche et du système proposé sont en effet dictées par la **préservation de l'intégrité des signaux numériques** et ce, à chacune des étapes ou relais par lesquels cette information transite.

## La transmission audionumérique

Bien que les sources et les informations qu'elles fournissent soient numériques, il est toujours nécessaire de transporter le message audio entre ces dernières et les différentes fonctions de traitement (sélection, gain, mélange, filtrage, conversion numérique-analogique, etc.), jusqu'à la destination finale matérialisée par les oreilles (sensibles et ô combien délicates) de l'audiophile.

Dans ce cadre, nous appellerons donc la fonction indispensable de transport du message audio, un **canal de transmission numérique** qui, physiquement véhiculera un signal électrique dans un câble coaxial ou une paire torsadée, un signal lumineux dans une fibre optique ou un signal électromagnétique dans l'atmosphère ou le vide.

Malheureusement, ces maillons de transmission sont les plus critiques qui soient car empreints de défauts considérables par rapport à ce que l'audiophile est en droit d'attendre de la précision numé-

rique, miraculeuse lorsqu'elle atteint 20 ou 22 bits.

Nous aborderons ici les deux plus grosses tares de la transmission numérique concernant les applications audio, à savoir la **gigue de phase** ou jitter et les **erreurs de transmission** induites qui, curieusement, n'ont été qu'effleurées jusqu'à maintenant dans la littérature audiophile. A quoi sert la meilleure des précisions si l'information est polluée ou erronée dès sa production ?

Ces nuisances se traduisent par des distorsions mesurables et audibles pouvant être catastrophiques selon qu'elles sont la conséquence du jitter ou d'une erreur de transmission, c'est-à-dire la corruption partielle ou totale du message audio.

Au cours de cet article, nous allons donc examiner l'origine et le mécanisme de ces phénomènes parasites, leur répercussion sur les systèmes audio et étudier les solutions permettant de les atténuer, voire les éliminer.

Schématiquement, une chaîne de transmission numérique telle que représentée sur la figure 3 est constituée de cinq éléments de base :

- la source délivrant le message audionumérique ;
- l'émetteur produisant le signal porteur du message ;
- le canal de transmission liant émetteur et récepteur ;
- le récepteur qui effectue la conversion signal/message reçu ;
- la destination adaptée à traiter le message reçu.

De plus, émetteur et récepteur sont parfois associés à des fonctions de codage et décodage et de détection et correction d'erreur.

## Cas de la transmission sur câble électrique

Les signaux numériques parfaits n'existent pas, tout particulièrement lorsqu'ils sont rapides et

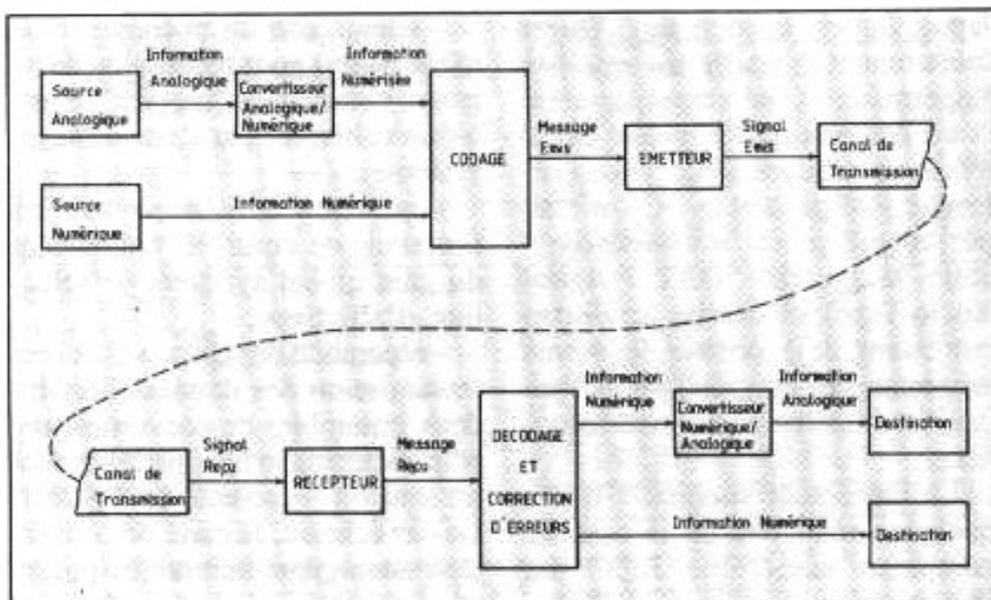


Fig. 3 : Bases de la transmission numérique.

transportés sur des câbles électriques. Le domaine des signaux numériques est en fait celui des systèmes de transmission d'énergie et des amplificateurs analogiques hautes fréquences réunis. Cela implique la connaissance du fonctionnement de l'émetteur, du récepteur, de leurs caractéristiques électriques, des formes diverses et modes d'opération (propagation) des circuits de lignes de transmission ainsi que les effets des excitations impulsion-

nelles sur ces dernières.

## Caractéristiques et format du signal audionumérique

Les normes respectives des interfaces AES/EBU, IEC958, S/PDIF (Sony/Philips), EIAJ CP-340 définissent la structure des données audionumériques et certaines caractéristiques physiques du signal de transmission. Ces interfaces sont un moyen de communi-

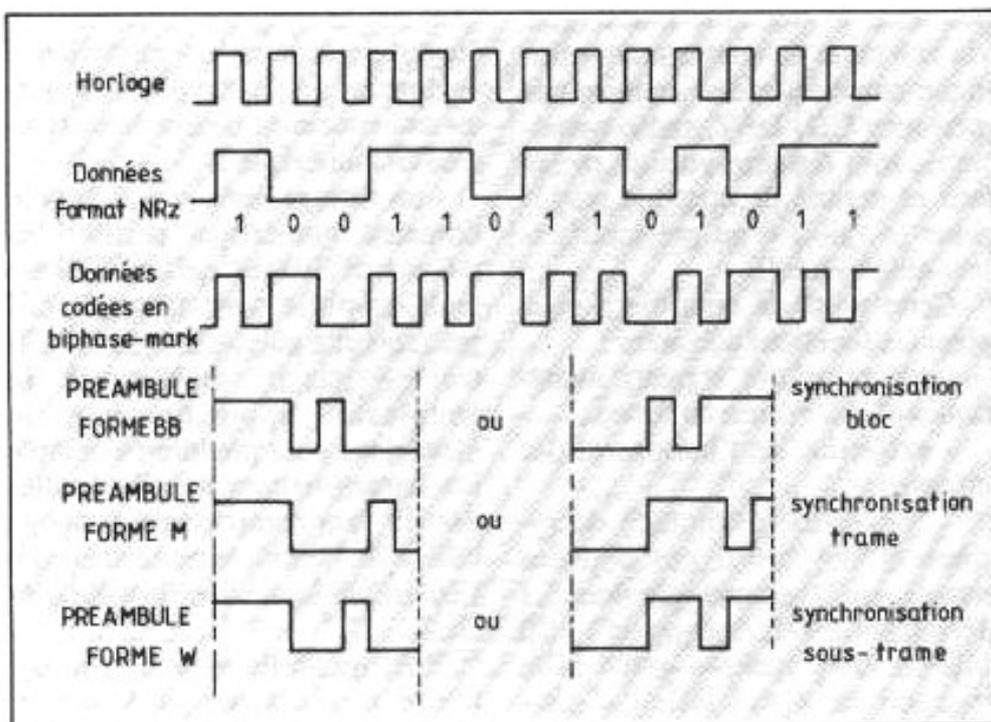


Fig. 4 : Codage biphasé M.

cation numérique série à travers une seule voie de transmission. Deux canaux sont aménagés pour les données audio (Droite/Gauche) avec des possibilités de véhiculer des informations de contrôle et de détection d'erreur. Les données sont codées dans un code biphasé ou Manchester (figure 4) qui permet d'en extraire facilement l'horloge de cadencement et de présenter un signal de valeur moyenne nulle, sans composante continue. La synchronisation des trames est obtenue par l'utilisation de préambules spécifiques.

Les normes spécifient l'organisation du train de bits en sous-trames, trames et blocs, la position et la signification de chaque bit selon le format illustré figure 5.

A raison de 32 bits par échantillon ou sous-trame et selon la fréquence d'échantillonnage utilisée, c'est-à-dire 32, 44,1 ou 48 kHz, le débit binaire de la transmission atteint donc respectivement 2,048, 2,8442 ou 3,072 Mbits/s. Cependant la figure 4 montre que la cadence de modulation biphasé est double de ces valeurs (4,096, 5,6448 et 6,144 Mbauds) et c'est celle qui influe sur la qualité du signal car elle est déterminée par la largeur d'impulsion minimale envoyée sur le médium. Ces fréquences sont suffisamment rapides pour poser de sérieux problèmes et rendent obligatoire l'utilisation de liaisons électriques adaptées.

## Origine du jitter ou gigue de phase (liaisons électriques)

Nous considérons que la ligne de transmission est adaptée idéalement pour ne pas avoir à tenir compte des distorsions du signal dues aux réflexions en cas de non-terminaison par son impédance caractéristique.

Le facteur le plus important nuisant à la qualité du système de transmission est le jitter ou la

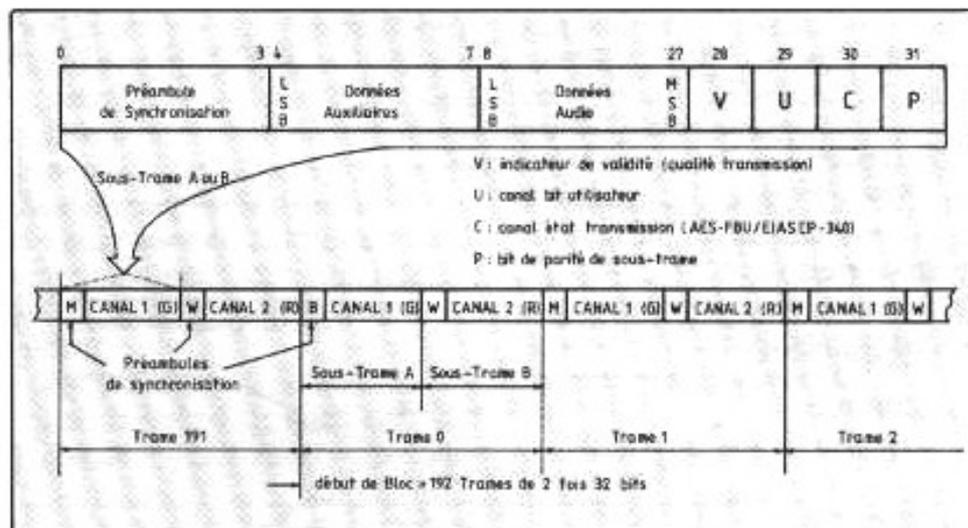


Fig. 5 : Format des trames audio numériques.

gigue de phase, cependant d'autres phénomènes concourent à la dégradation du transport des données et de leur intégrité (erreur de transmission). Par définition, le jitter correspond aux variations ou fluctuations de phase rapides (supérieures à quelques hertz) des instants significatifs (transitions, passages à zéro par exemple) du signal numérique par rapport à leur position temporelle idéale.

Le jitter du signal reçu est en fait la résultante de plusieurs distorsions (déformations de la forme d'onde) affectant le signal transmis et d'imperfections de l'émetteur et surtout du récepteur. Ces défauts ont tendance à disperser le timing du signal reçu.

Une des premières causes de distorsion du signal est l'incidence de la ligne de transmission sur les temps de montée et de descente des données transmises. Ces temps de transition augmentent au fur et à mesure de la propagation du signal dans la ligne et les composantes hautes fréquences du signal sont atténuées et retardées davantage que les basses fréquences. L'atténuation est inversement proportionnelle à la fréquence et la forme d'onde d'origine est déformée, jusqu'à devenir quasi-sinusoidale selon la longueur de la ligne (figure 6).

Ainsi une nouvelle impulsion

peut atteindre l'entrée du récepteur avant que la précédente soit parvenue à sa valeur finale provoquant une "interférence intersymbole". Cette interférence peut être réduite en choisissant un intervalle unitaire long par rapport au temps de montée et de descente du signal à l'entrée du récepteur.

La diminution de la cadence de modulation pour une longueur de ligne donnée, ou vice-versa, permet d'éviter cette forme d'interférence.

Une autre forme de distorsion présente dans la signalisation synchrone, comme le format biphasé, est la distorsion isochrone. Elle s'exprime comme le rapport entre l'intervalle unitaire et la différence maximale mesurée entre les instants de transition réels et théoriques. En d'autres termes, c'est le pourcentage de l'intervalle unitaire qui est soumis au jitter crête-à-crête du signal.

Enfin, si le seuil de décision du récepteur dérive dans une direction ou une autre (figure 7) ou si les niveaux de sortie de l'émetteur sont asymétriques, les durées des états logiques 0 et 1 ne sont plus égales et provoquent une distorsion de polarisation. Les autres formes de distorsion sont qualifiées de fortuites et sont dues à des facteurs indépendants du système de transmission comme le bruit et la diaphonie.

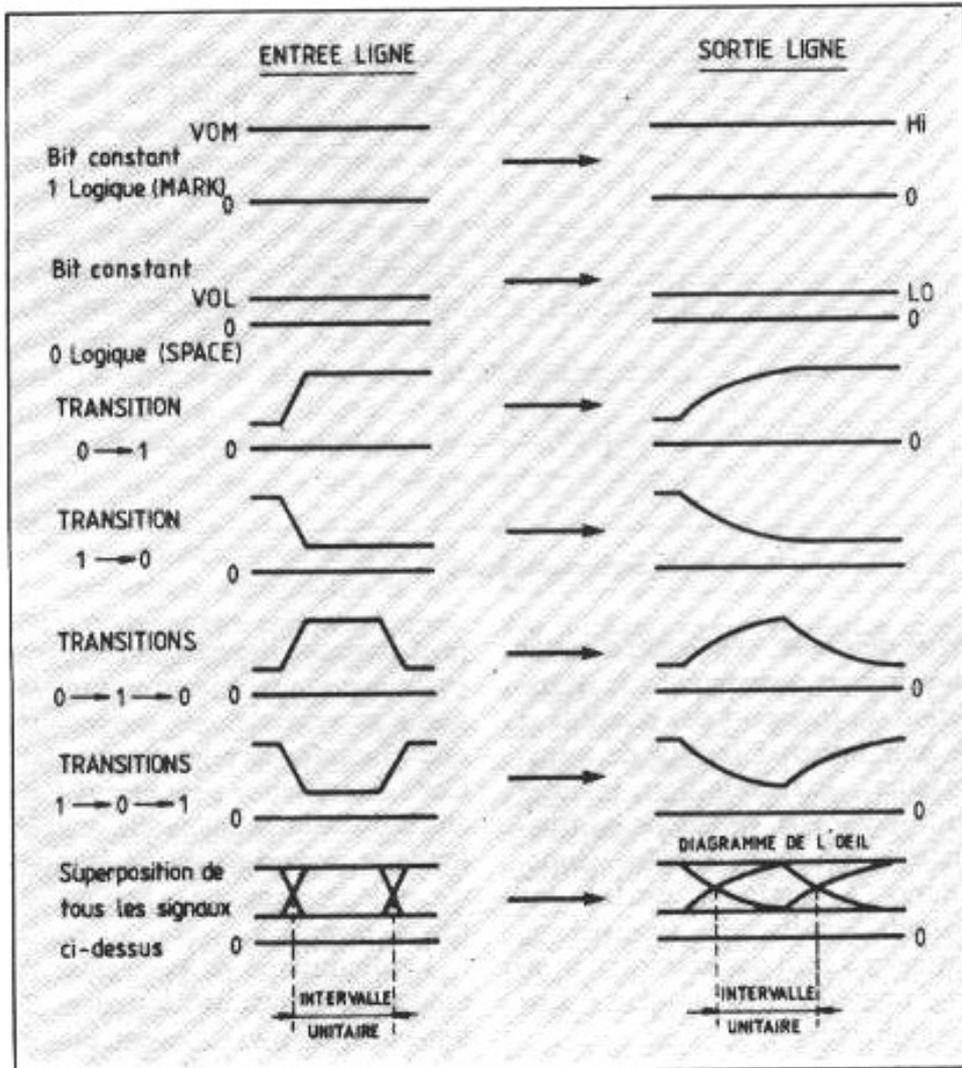


Fig. 6 : Déformations du signal.

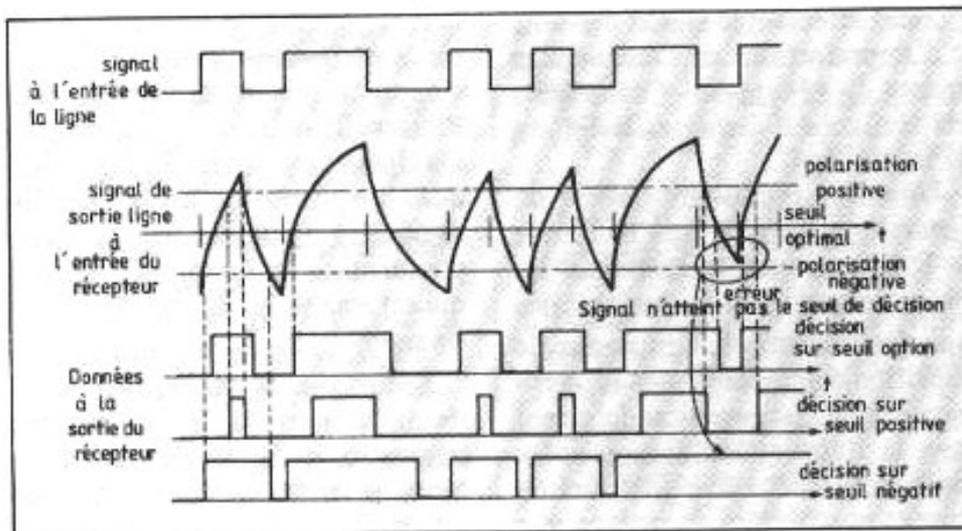


Fig. 7 : Distorsion de polarisation.

## Action du jitter sur l'extraction des données

A l'extrémité de la ligne de

transmission se trouve la fonction la plus importante du système : la circuiterie de récupération de rythme ou d'horloge et d'échantillonnage des données. Dans le for-

mat biphasé utilisé pour l'audio-numérique, l'horloge est mélangée aux données, aussi la première tâche à accomplir est de récupérer le rythme d'horloge à partir du train de bits reçu. La seconde est d'échantillonner avec cette horloge les données contenues dans le train de bits pour les resynchroniser.

Tout ou partie du jitter contenu dans le signal reçu apparaît sur l'horloge récupérée suivant le spectre du jitter et le type de circuiterie utilisée pour extraire l'horloge. Le circuit de resynchronisation doit idéalement échantillonner les données centrales au centre de l'œil binaire (figure 8), résultat de la superposition de bits 0 et 1 alternatifs durant chaque intervalle unitaire. En général,  $\theta_0$ , correspondant à la phase du signal d'horloge récupéré, ne peut suivre  $\theta_1$  exactement, ainsi il en résulte une erreur de phase  $\theta_e$  ( $\theta_e = \theta_1 - \theta_0$ ) entre l'horloge et les données. Avec un oscilloscope synchronisé sur les données, cette erreur est vue comme un élargissement de la trace de l'horloge récupérée. La largeur de la trace est la valeur crête-à-crête de la gigue de phase. Si cette erreur est trop grande, le front montant de l'horloge approche les bords de l'œil et le circuit de décision du système de transmission fait des erreurs. Le diagramme de l'œil s'avère être un outil très utile pour la mesure de la qualité du signal reçu et indique la gigue minimale de transition pour une longueur, un type de ligne (symétrique ou non, coaxiale, torsadée, blindée), un codage et une cadence de modulation donnés.

Les conditions minimales de gigue sont atteinte si :

- les niveaux correspondant aux états binaires 0 et 1 issus du transmetteur sont symétriques et que le seuil de décision du récepteur est fixé à la moitié de ces niveaux ;
- la ligne est terminée par son impédance caractéristique ;
- les temps de propagation du

transmetteur et du récepteur sont symétriques, ce, pour chaque transition et sans skew (différence de temps).

Dans le même esprit, afin de conserver les conditions de symétrie, les liaisons différentielles symétriques (type AES-EBU/RS-422 sur paire torsadée blindée) seront privilégiées par rapport à des liaisons unifilaires beaucoup plus sensibles aux pertes résistives (atténuation) et au bruit de mode commun, en étant elles-mêmes génératrices de bruit.

Dans une liaison ou un système audionumérique, le jitter va donc intervenir à deux niveaux, tout d'abord en étant susceptible de provoquer des erreurs de transmission par corruption totale des données transmises et surtout par son effet désastreux de modulation des horloges d'échantillonnage des Convertisseurs Numérique-Analogique (CNA) lors de la reconstruction du signal. Il en est de même pour la fonction de Conversion Analogique-Numérique (CAN) lors de l'acquisition et la numérisation d'un signal analogique (enregistreur DAT par exemple) si l'horloge d'échantillonnage n'est pas exempte de jitter.

## Effet du jitter sur les fonctions de conversion

Hormis les erreurs de transmission qu'il peut provoquer, le jitter intervient au niveau des fonctions de conversion A/N (acquisition) et N/A (reconstruction du signal) en créant une incertitude sur les instants d'échantillonnage.

Une manière facile de comprendre les effets indésirables de ce bruit de phase résiduel est de considérer le cas où les fréquences du signal d'horloge et du signal analogique sont les mêmes, en prenant pour exemple la conversion A/N. Le plus mauvais cas de figure apparaît lorsque le CAN échantillonne le signal analogique d'entrée

lors de son passage à zéro (figure 9). Idéalement, la sortie numérique du convertisseur doit afficher toujours la même valeur. Si une erreur de phase existe entre l'horloge d'échantillonnage et le signal d'entrée, la valeur numérique résultant de la conversion sera légèrement au-dessus ou au-dessous de la valeur nominale.

Par exemple, en considérant un signal sinusoïdal appliqué sur l'entrée d'un CAN 16 bits, ayant une

fréquence de 20 kHz, une amplitude de 6 V crête-à-crête, soumis à une erreur de phase de  $0,01^\circ$  (erreur d'échantillonnage de 1,4 ns), il en résulte une erreur d'environ 1 mV, ce qui est équivalent à une dizaine (!) de quanta (LSBs) du dit convertisseur. Cette erreur est proportionnelle au slew-rate du signal, ainsi pour une sinusoïde, le slew-rate est :

$$S_r = V_p \times \omega \times (\cos(\omega t)),$$

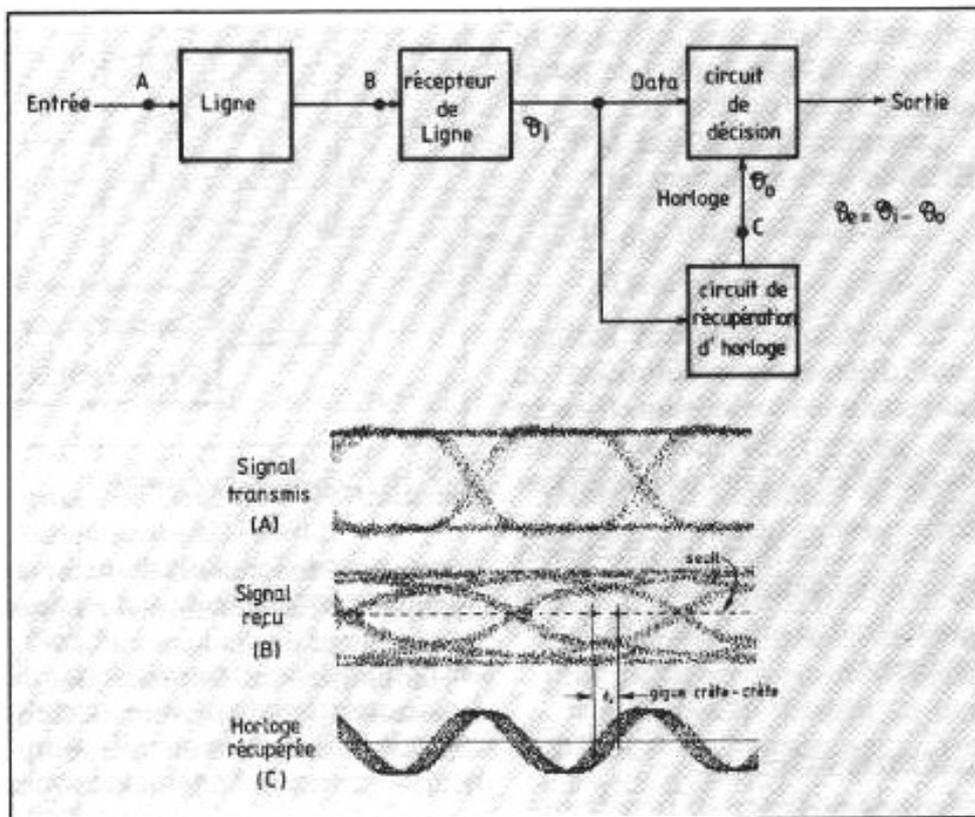


Fig. 8 : Gigue et diagramme de l'œil binaire.

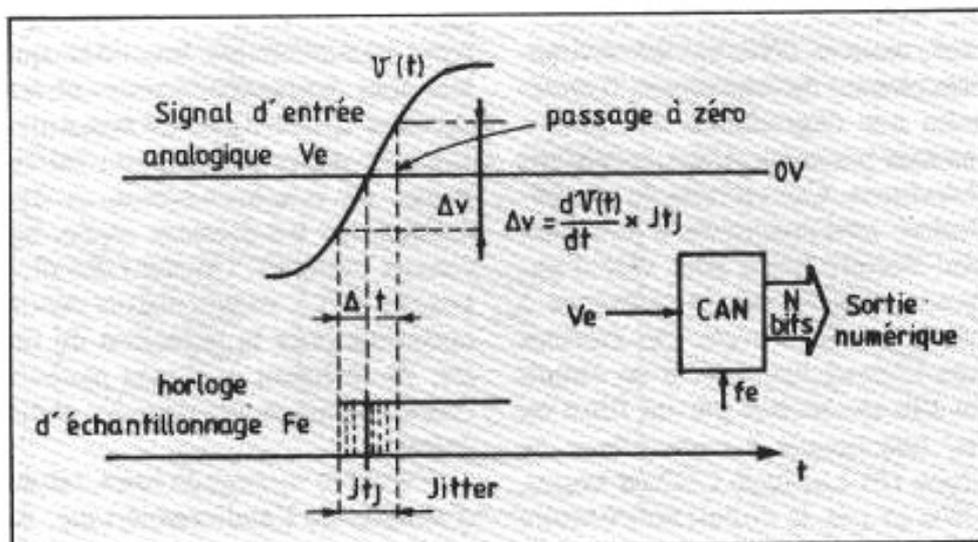


Fig. 9 : Effet du jitter sur un CAN.

où  $V_p$  est la valeur crête du signal et  $\omega = 2 \times \pi \times F$ , sa pulsation.

Le bruit total échantillonné est l'intégrale du slew-rate multiplié par le jitter sur une période du signal d'entrée. Parce que le bruit de phase n'est pas corrélé avec le signal d'entrée, le résultat se simplifie à :

$$E_n = S_{r, \text{eff}} \times Jtj = 0,707 \times V_p \times \omega \times Jtj$$

où  $E_n$  est l'énergie efficace du bruit en volts et  $Jtj$  le jitter. La valeur  $E_n$  est égale à la valeur efficace du slew-rate ( $dV/dt$ ) multipliée par la valeur efficace du jitter  $JT$ .

Le rapport signal/bruit SNR en dB dû au jitter seulement est :

$$\text{SNR}_j = 20 \times \log(V_{\text{in eff}} / E_n)$$

$$\text{SNR}_j = -20 \times \log(\omega \times JT)$$

Le tableau ci-dessous indique pour différentes résolutions de convertisseurs les valeurs efficaces max. du jitter délivrant une contribution égale au bruit de quantification.

Dans ce cas d'égalité, le rapport signal/bruit global sera celui dû à la quantification réduit de 3 dB (voir tableau A).

## Circuits de récupération d'horloge

Les dispositifs de synchronisation ne permettent pas de reconstituer exactement le rythme du signal reçu, mais en délivrent une estimation plus ou moins précise. Il en résulte une dégradation des performances par rapport aux prévisions théoriques. Ces circuits de récupération sont constitués d'un circuit non-linéaire qui a pour rôle d'engendrer un signal de référence à partir du signal reçu. Cet élément non-linéaire est suivi d'un circuit de filtrage réalisé par un filtre ou par une boucle à verrouillage de phase (PLL=Phase Locked Loop). Dans ce cas, le circuit non-linéaire peut être le détecteur de phase lui-même. La figure 10 présente le

Résolution	SNRJ (dB)	Jitter max. @ 20 kHz
16 bits	98,08	100 ps eff.
18 bits	110,12	24,8 ps eff.
20 bits	122,16	6,2 ps eff.

Tableau A

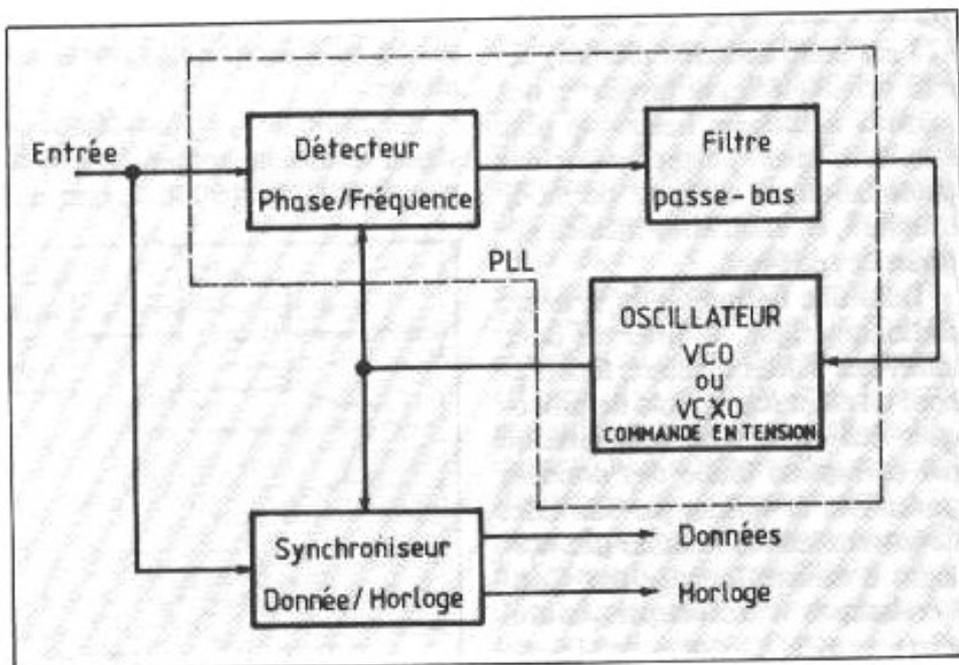


Fig. 10 : Séparateur de données.

diagramme fonctionnel d'un circuit typique de récupération d'horloge et séparateur de données à PLL.

La plupart des électroniques du commerce (convertisseur, lecteur de CD) utilisent des circuits récepteurs interfaces audionumériques compatibles avec la norme S/PDIF (format grand public) conçus pour la quasi-totalité par des fabricants japonais. Peu coûteux, ces récepteurs exécutent les fonctions qui leur sont demandées : recevoir les données d'une ligne de transmission, récupérer l'horloge et les signaux de synchronisation et démultiplexer les données audio des canaux logiques. Utilisant des dispositifs à PLL rudimentaires et non optimisés pour la réduction du jitter, ils infligent quelques nanosecondes de gigue aux données audio extraites.

Véritable sources de bruit, talons d'Achille de l'audionumérique, ils sont capables de noyer quelques bits du meilleur convertisseur A/N

ou N/A en un seul coup de cuillère à pot ! Et si, comme il est à peine imaginable, un de ces convertisseurs CD magnifiques, affichant 24 bits suréchantillonnés 512 fois, véritable joyau de la haute-fidélité numérique, servant de référence à toute une corporation qui, les oreilles épanouies, est benoîtement recueillie devant lui, renfermait un de ces récepteurs délictueux ? Bientôt des armées de tournevis vont libérer des capots afin qu'un œil inquisiteur procède à une vérification minutieuse pour y dénicher un de ces coupables récepteurs...

## Techniques de réduction du jitter

Les liaisons audio en général et numériques en particulier dans les installations domestiques sont relativement courtes, une dizaine de mètres au plus, ceci comparé aux réseaux de communication publics ou locaux. Il est possible en

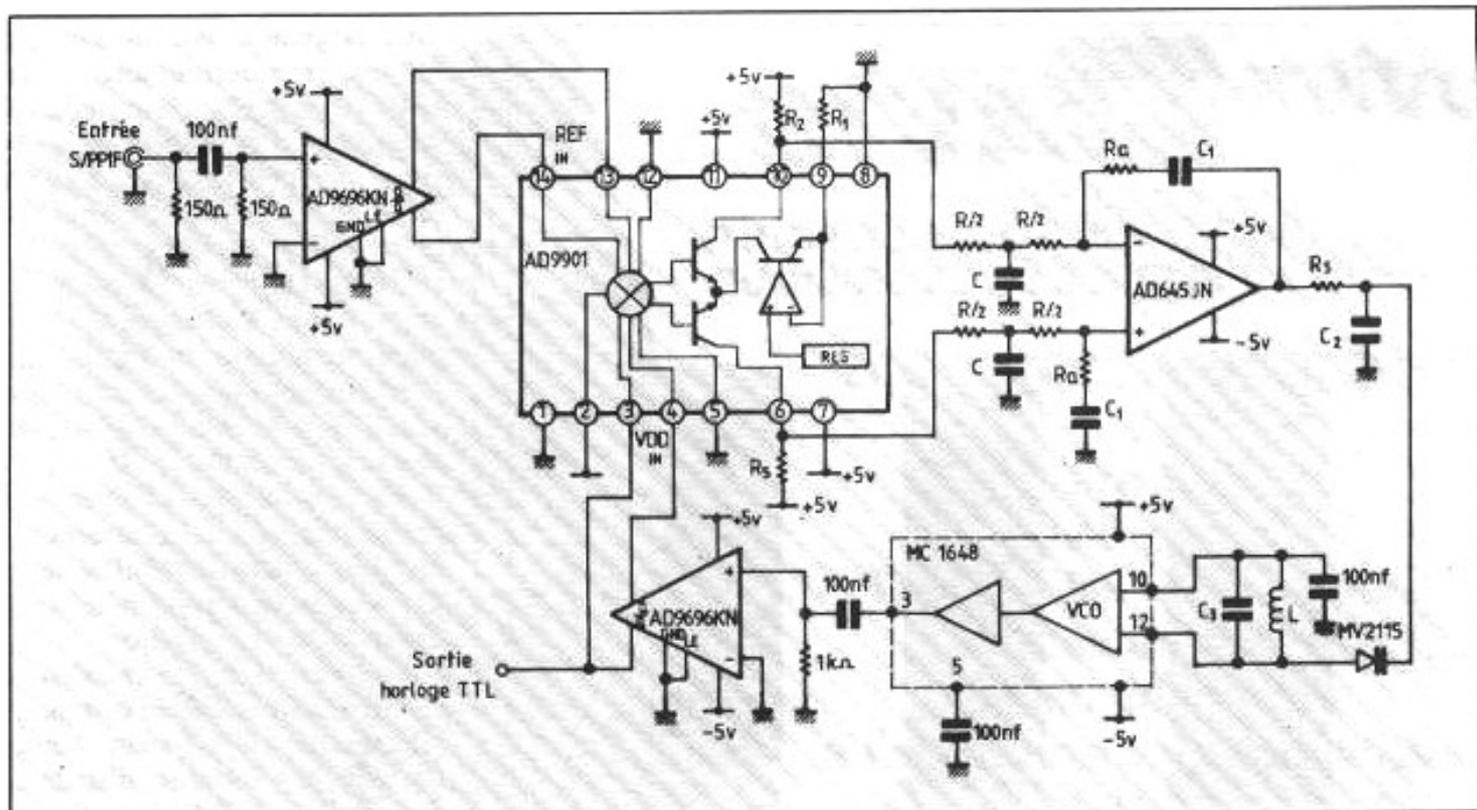


Fig. 11 : PLL optimisé pour la réduction de jitter.

utilisant un médium de qualité "numérique" (câble, fibre optique, liaison infra-rouge ou hertzienne) de s'affranchir complètement des erreurs de transmission et de limiter les évolutions du jitter à quelques pourcentages de l'intervalle unitaire. Amplitude admissible pour une bonne récupération des données, mais intolérable lors de la numérisation ou la reconstruction du signal au travers des fonctions de conversion A/N et N/A.

Il va donc falloir concevoir des dispositifs capables d'absorber ou de filtrer ces variations de phase des horloges d'échantillonnage. Ces récupérateurs de rythme devront se comporter comme un filtre réjecteur du signal de gigue et estimer la phase du signal reçu.

Sans entrer dans la théorie du récepteur et de l'estimation optimale, il est possible de lister quelques systèmes de récupération de rythme :

- à asservissement de phase (PLL), structure bouclée à filtre analogique (figure 10) ;

- à asservissement de phase, structure bouclée avec traitement numérique (AD1890) ;

- utilisant une fonction non-linéaire dans une structure non bouclée.

Seuls seront examinés dans cette rubrique les deux premières structures, la dernière étant moins performante dans la mesure où le signal reçu est fortement bruité.

La description et la mise en œuvre de ces solutions feront l'objet d'un prochain article dont nous vous livrons aujourd'hui les principales caractéristiques.

La première solution à PLL et filtre analogique est classique

(figure 11) mais, cependant, optimisée pour minimiser le bruit de phase en sortie dû au jitter externe. Cet objectif est atteint par la conception du filtre de boucle et le choix des composants de qualité pour les étages critiques, à savoir :

- le dispositif de mise en forme limiteur du signal reçu (comparateur AD9696) ;
- le comparateur de phase/fréquence (AD9901) ;
- l'amplificateur du filtre de boucle (AD645) ;
- le VCO ou VCXO (oscillateur avec ou sans quartz commandé en tension).

La seconde solution, beaucoup

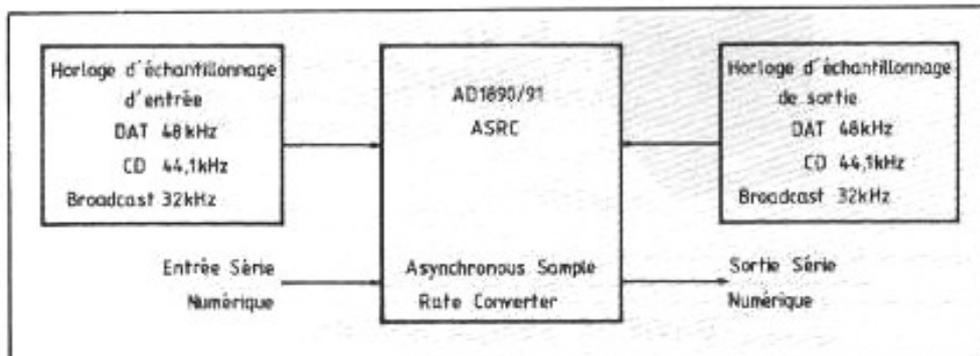


Fig. 12 : Bloc fonctionnel de l'AD1890.

plus originale, met en œuvre un circuit "révolutionnaire", l'AD 1890 (figure 12), conçu pour l'adaptation ou la conversion numérique asynchrone de fréquences d'échantillonnage comportant, entre autres fonctions, celle de la réduction de jitter. Ce composant emploie une technique de traitement numérique du signal (filtre polyphase et interpolation) en association avec un asservissement de phase numérique.

En conclusion, cet aperçu des problèmes liés à la transmission numérique aura sensibilisé le lecteur aux aspects fondamentaux du transport de l'information.

La fonction de transmission doit en effet être considérée comme l'épine dorsale ou le système nerveux (chemin des données, distribution des horloges...) de tout système complexe ou maillon séparé audio-numérique.

Cette fonction doit être parfaitement étudiée et réalisée au mieux avant d'aborder d'autres fonctions s'y rapportant telles que le filtrage interpolateur, la conversion numérique-analogique, les alimentations.

A quoi servirait-il de choisir tel "super-DAC, 20 bits garantis" s'il doit être "pendu" à un système de transmission ne pouvant lui garantir que 12 ou 13 bits...

## Références bibliographiques

- "Digital Signal Transmission", C.C. Bissel et D.A. Chapman, Cambridge University Press.

- "Analog Devices High Speed Seminar Handbook", 1989.

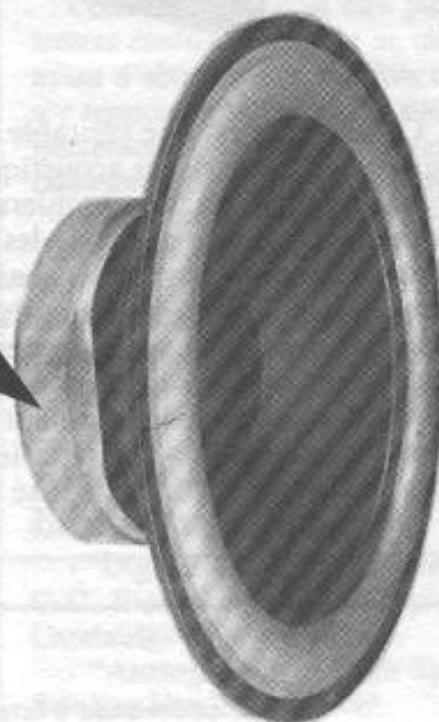
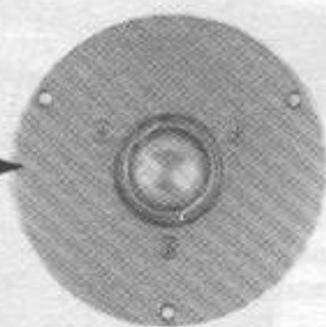
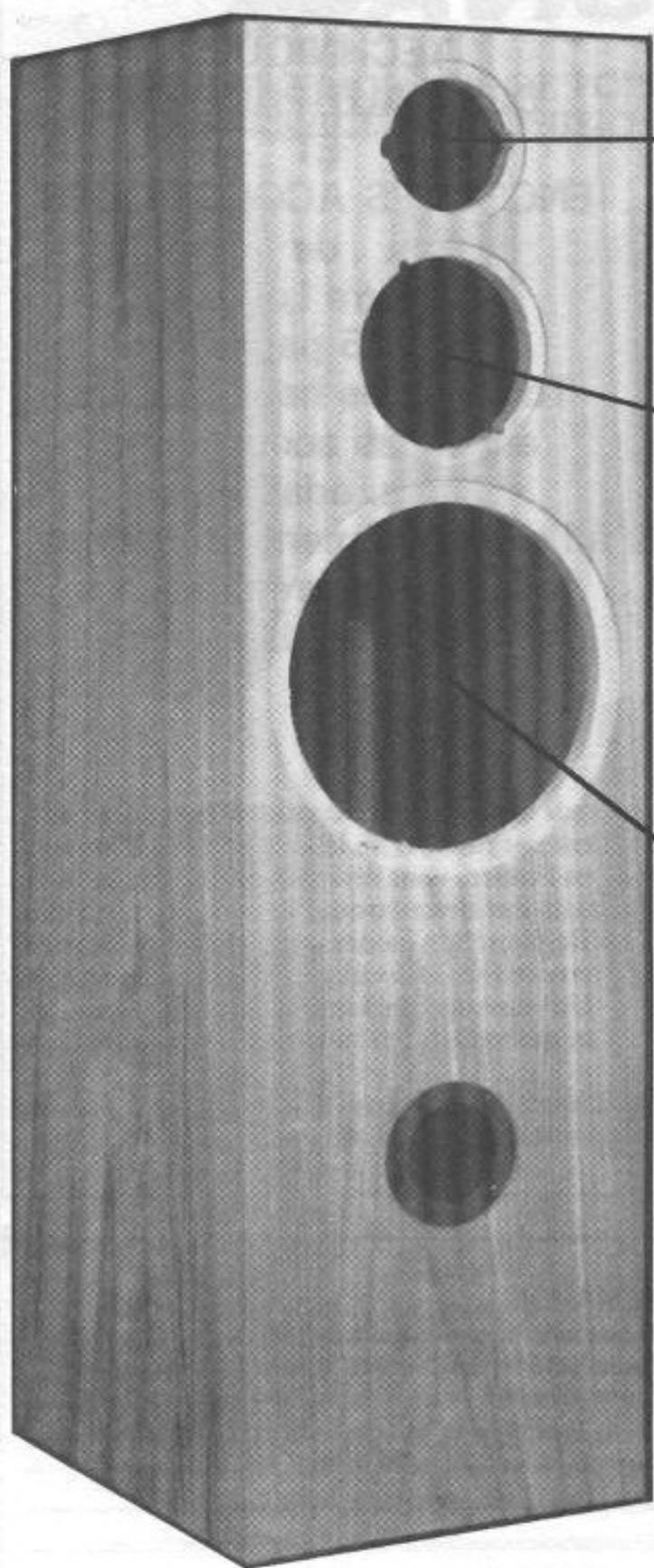
- "Transmission Line Characteristics", AN108, National Semiconductors.

- "Jitter in Digital Transmission Systems", Patrick Trishitta, Ar-tech House Library.

- *Data sheets* Analog Devices AD802, AD803.

- *Data sheets* Analog Devices AD9901, AD9696, AD645.

**Page non  
disponible**



- Réalisation personnelle -

## KIT ENCEINTE ACOUSTIQUE DSA

*Charles-Henry Delaleu*

**C**

*omme nous l'avions annoncé dans les articles concernant LEAP et CALSOD, nous abordons aujourd'hui une enceinte acoustique de type 3 voies bass-reflex dont l'essentiel de l'étude et de la mise au point ont été effectuées avec les différents outils précédemment décrits*

Pour la réalisation de ce kit, nous avons opté pour une enceinte acoustique de type bass-reflex trois voies utilisant soit des grands classiques, soit des nouveautés intéressantes en guise de transducteurs. Notre choix, après mûre réflexion, s'est porté sur le CA 25FEY/DD de SEAS comme transducteur de grave, sur le HM 130Z0 d'Audax comme médium, sur le D260 Dynaudio en tant que tweeter. Les charges acoustiques du haut-parleur de grave et du haut-parleur de médium seront de type bass-reflex. La forme générale de l'enceinte acoustique est une colonne.

### **Le CA 25FEY/DD**

Le choix du transducteur de grave a été dicté pour obtenir une

utilisation optimum sur une majorité d'amplificateurs. Le bon mariage entre un haut-parleur de basse et un amplificateur peut dépendre de nombreux paramètres, comme le coefficient d'amortissement de l'amplificateur, le facteur de force du transducteur et le coefficient de surtension de l'enceinte. Avec un CA 25FEY/DD, nous obtenons un ensemble de paramètres tout à fait classiques qui permettront d'éviter tout problème de couplage ampli-enceintes. Ce haut-parleur est équipé d'un châssis en magnésium injecté, d'une suspension en demirouleau en néoprène, d'une membrane en pulpe de cellulose dont la surface a été traitée par du latex, mais ce qui en fait sa principale qualité est le moteur électromagnétique. D'une part le moteur est

surdimensionné, il est réalisé avec une ferrite de diamètre 134 mm, d'autre part la bobine mobile est fabriquée d'après la technologie Double Dumping chère à SEAS. De part et d'autre de la bobine principale, on trouve deux petites bobines qui sont respectivement en court-circuit électrique. Lors des fortes elongations de l'équipage mobile, ces bobines en court-circuit baignent dans l'entrefer et provoquent un amortissement électromagnétique du déplacement de l'équipage mobile. De ce fait, toutes suroscillations ou traînages sont très fortement atténués. Le comportement dynamique du transducteur s'en trouve fortement amélioré. A l'écoute, cela se traduit par un grave plus ferme et plus dynamique et une forte diminution du traînage.

Les principales caractéristiques de ce haut-parleur sont reprises sur la figure 1.

## Le HM 130Z0

Ce haut-parleur de médium fait partie de la famille Aéro-gel d'Audax, il s'agit d'une nouvelle technologie qui consiste à réaliser la membrane avec un tout nouveau matériau. Cette membrane est constituée d'une matrice contrôlée de gel polymère acrylique enveloppant des fibres de carbone et de kevlar correctement orientées. Ce procédé permet de façonner une forme de membrane à loisir tout en possédant des caractéristiques physiques intéressantes. L'ensemble gel polymère acrylique et fibres autorise une vitesse de propagation du son extrêmement importante à travers les matériaux. Les premiers essais effectués sur le 21 cm, le 17 cm et le 13 cm nous ont procuré

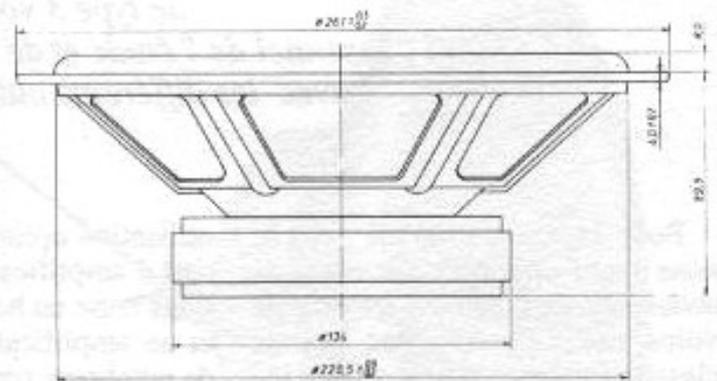
des résultats intéressants en ce qui concerne les fréquences médium. Nous n'avons pas retenu cette technologie pour le boomer de notre kit car elle ne nous a pas semblé idéale pour le bas du spectre qui manque de corps et d'impact. Par contre, dans le médium les résultats sont assez convaincants : le son obtenu est particulièrement articulé et défini. Le seul défaut que nous avons rencontré dans cette partie du spectre concerne une légère impression de son projeté. Ce petit défaut a été corrigé lors de la réalisation de ce kit (voir second article).

Le châssis de ce haut-parleur est en zamak moulé. Un soin tout particulier a été apporté à la décompression des pièces en mouvement. Le volume d'air compris entre le spider et le saladier est ouvert.

Les principales caractéristiques de ce haut-parleur sont reprises sur la figure 2.

## Le D 260

Le tweeter D 260 est directement issu des études réalisées sur son grand frère, le T 330D. Ce haut-parleur à dôme de tergal imprégné possède un circuit magnétique tout à fait original qui permet d'obtenir un maximum de champ magnétique dans l'entrefer. Son profil particulier autorise un meilleur écoulement des ondes acoustiques débouchant sur une charge qui a pour but d'amortir l'arrière du dôme. La capacité en pression acoustique est dès lors nettement améliorée. Il n'y a pas de risque de saturation à une puissance de quelques watts, comme sur la majorité des tweeters à dôme. Une étude statistique réalisée sur une quantité importante de tweeters à dôme nous a révélé qu'énormément de modèles arrivaient à saturation en pression entre 10 et 30 W. Avec le D 260,



### CA 25FEY/DD

Puissance nominale	100 W
Sensibilité	92 dB
Diamètre de la bobine	39 mm
Hauteur de la bobine	14 mm
Hauteur de l'entrefer	6 mm
Inductance de la bobine	0,12 mH
Résistance DC de la bobine	6 Ω
Facteur de force	10,3 Wb/m
Surface active	350 cm <sup>2</sup>
Masse mobile	26 g
Fréquence de résonance	33 Hz
V <sub>AS</sub>	135 l
Q <sub>MS</sub>	1,9
Q <sub>ES</sub>	0,35
Q <sub>TS</sub>	0,30

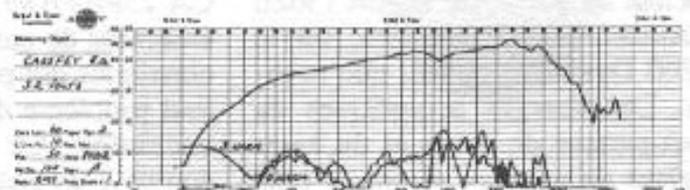


Fig. 1 : Le boomer SEAS : CA 25FEY/DD. Photo, plan mécanique, caractéristiques générales.

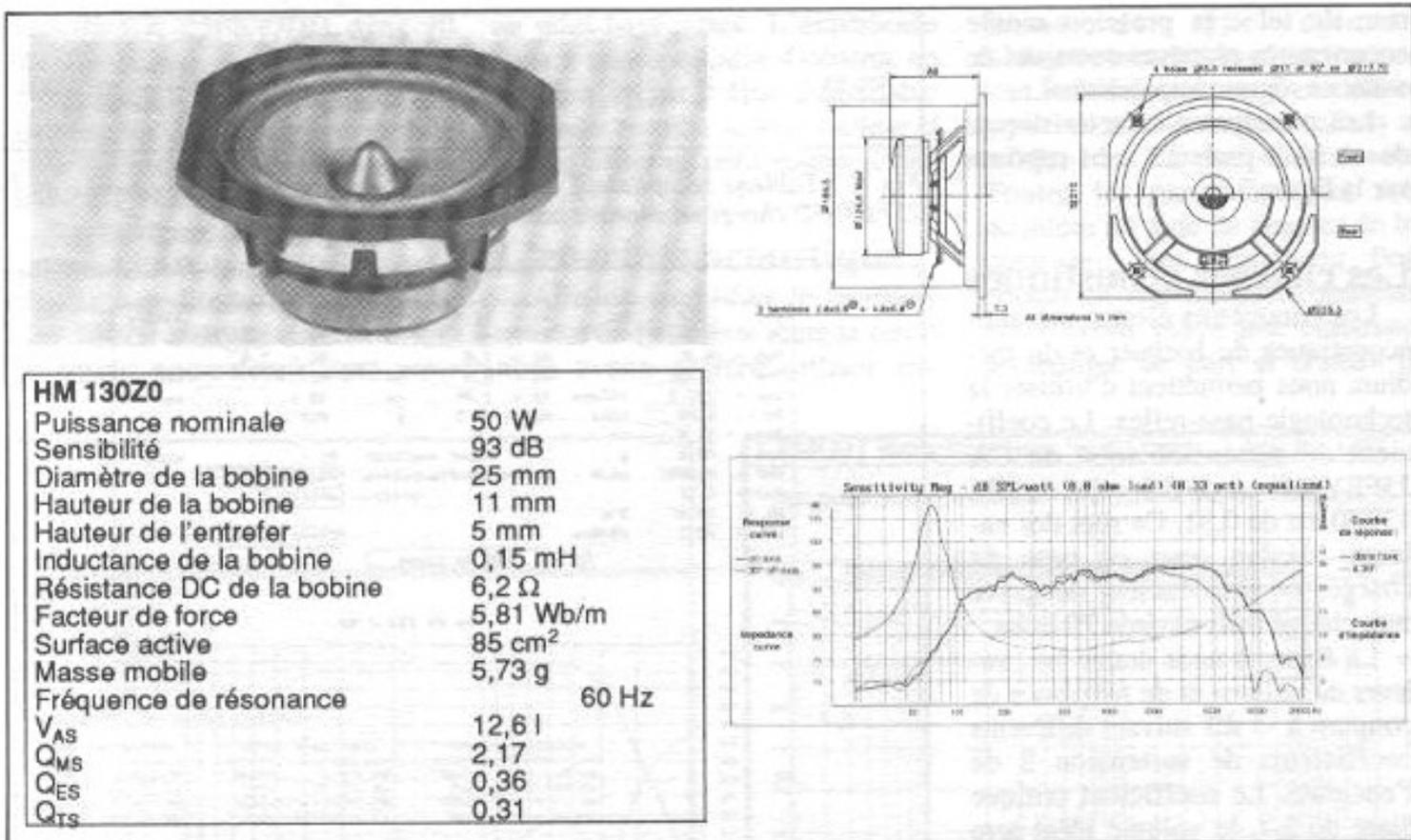


Fig. 2 : Le médium Audax : HM 130Z0. Photo, plan mécanique, caractéristiques générales.

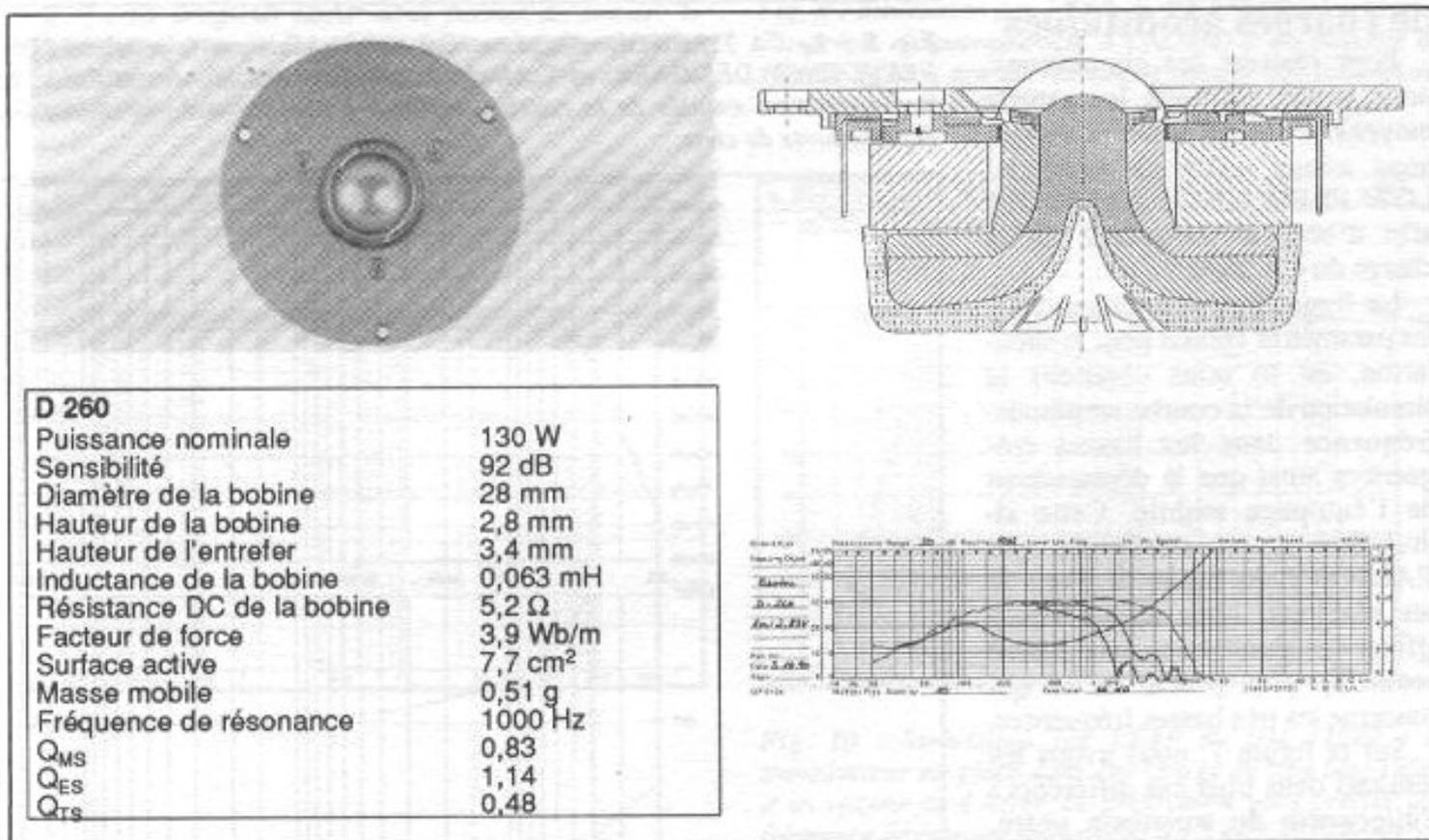


Fig. 3 : Le tweeter Dynaudio : D 260. Photo, plan mécanique, coupe du haut-parleur, (noter les formes particulières des pièces polaires), caractéristiques générales.

rien de tel : la pression monte encore après plusieurs centaines de watts en régime impulsif.

Les principales caractéristiques de ce haut-parleurs sont reprises sur la figure 3.

## Les charges acoustiques

Les paramètres électro-mécano-acoustiques du boomer et du médium nous permettent d'utiliser la technologie bass-reflex. Le coefficient de surtension total du CA 25FEY/DD est de 0,3, celui du HM 130Z0 est de 0,31. Ce sont des valeurs idéales pour ce type de charge. Le transducteur de grave sera chargé dans environ 70 litres.

La figure 4 nous donne les valeurs de volume et de fréquence de coupure à -3 dB suivant différents coefficients de surtension S de l'enceinte. Le coefficient critique étant de 5,7, le volume idéal sera de 69 litres.

## Les simulations

### de charges acoustiques

Pour réaliser ses simulations, nous avons employé les grands moyens. Dans un premier temps, nous avons utilisé le progiciel LOW FREQUENCY DESIGNER afin d'obtenir un aperçu de la charge du CA 25FEY/DD.

La figure 5 nous indique en a) les paramètres choisis pour la simulation, en b) nous obtenons la simulation de la courbe amplitude-fréquence dans les basses fréquences ainsi que le déplacement de l'équipage mobile. Cette simulation a été confirmée par CALSOD (voir figure 6). Fors de ces résultats, nous avons voulu affiner ces simulations avec LEAP beaucoup plus précis en ce qui concerne les très basses fréquences.

Sur la figure 7, nous avons les résultats dans trois cas différents : Butterworth du troisième ordre, grave étendu, Bessel. Notre choix s'est porté sur le deuxième cas.

La figure 8 représente la simula-

S	=	2.00	2.80	4.00	5.70	8.00	11.30	16.00	
VOLUME	=	24.30	34.02	48.60	69.26	97.20	137.30	194.40	EN LITRES
P -3dB	=	77.78	65.74	55.00	46.07	38.89	32.72	27.50	EN HZ

Fig. 4 : Tableau récapitulatif des volumes et des fréquences de coupure du CA 25FEY/DD chargé en enceinte bass-reflex.

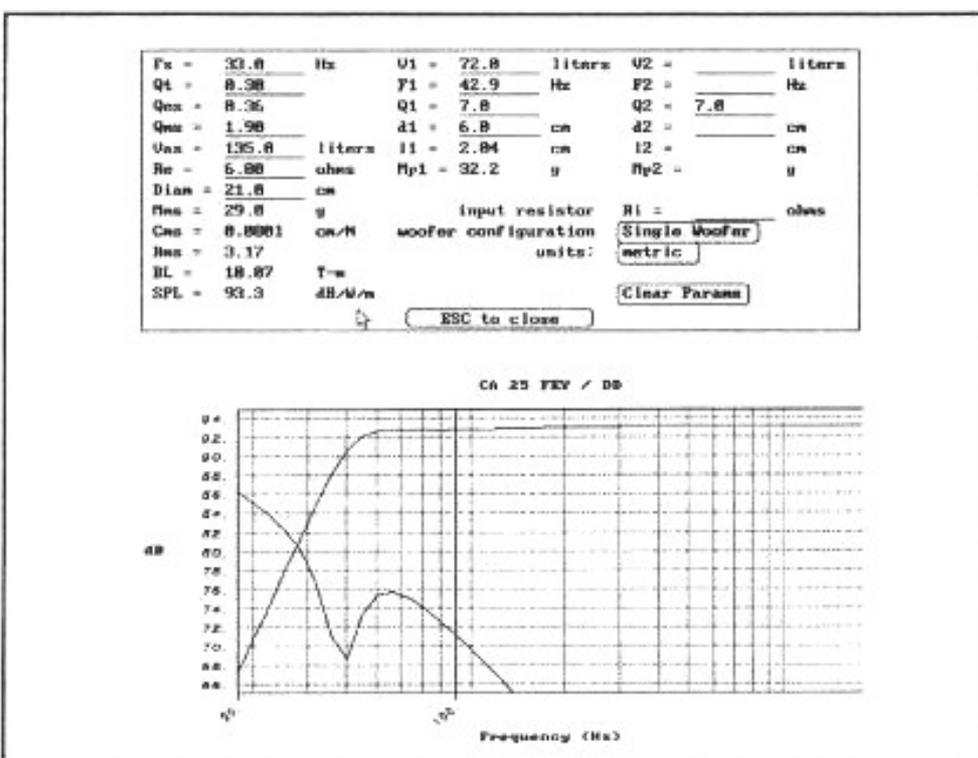


Fig. 5 : Le CA 25FEY/DD chargé en bass-reflex simulé par le progiciel LOW FREQUENCY DESIGNER. a) Tableau récapitulatif des données utilisées; b) Représentation simulée de la courbe amplitude-fréquence et de la courbe des déplacements du cône.

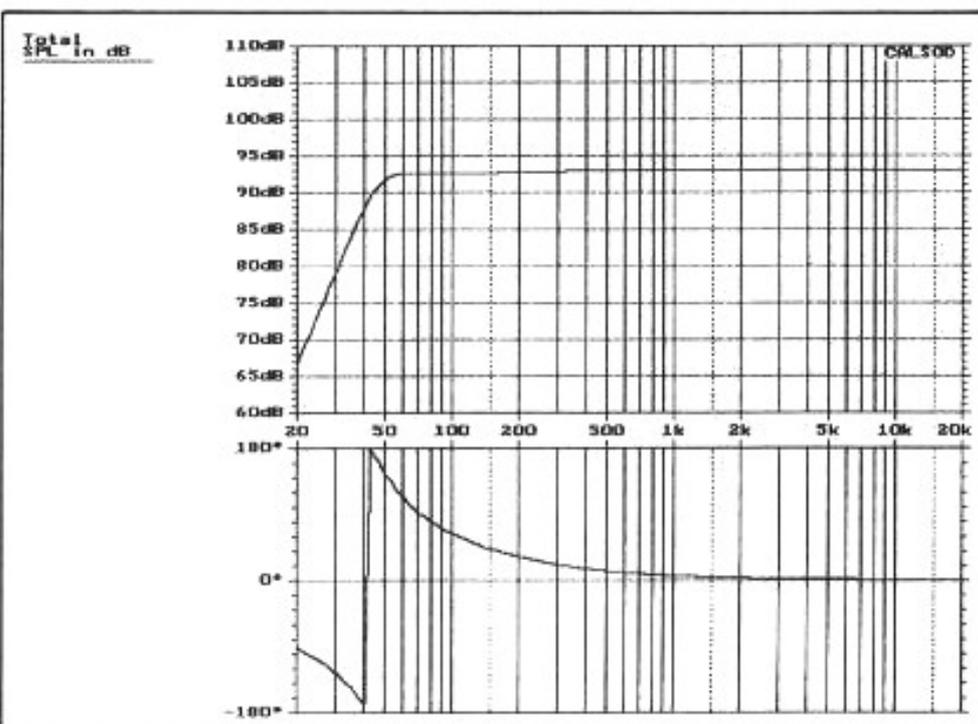


Fig. 6 : Le CA 25FEY/DD chargé en bass-reflex simulé par le progiciel CALSOD dans les mêmes conditions que la figure 5 : courbes amplitude-fréquence et phase.

tion du CA 25FEY/DD dans 70 litres de charge.

La figure 9 nous indique les déplacements de l'équipage mobile dans la charge utilisée à une puissance d'1 W électrique.

Sur la figure 10, on peut voir, grâce à LEAP, la simulation de la courbe amplitude-fréquence du HM 130Z0 chargée dans 4 litres. Ici aussi, nous avons opté pour

un mini-bass-reflex. L'expérience nous a appris qu'afin d'obtenir un médium vivant il était souhaitable de laisser respirer le haut-parleur et donc d'éviter un petit volume clos.

## L'enceinte acoustique

Afin de simplifier le positionnement de l'enceinte dans la pièce, nous avons préféré utiliser une

forme de type colonne. L'alignement des haut-parleurs est tout à fait classique. Les coffrets grave et médium sont réalisés en médite de 22 mm d'épaisseur. Toutes les parois internes sont doublées à l'aide de plaques de bitume de 5 mm d'épaisseur. Pour obtenir un amortissement optimum, nous avons placé une résistance acoustique de part et d'autre du

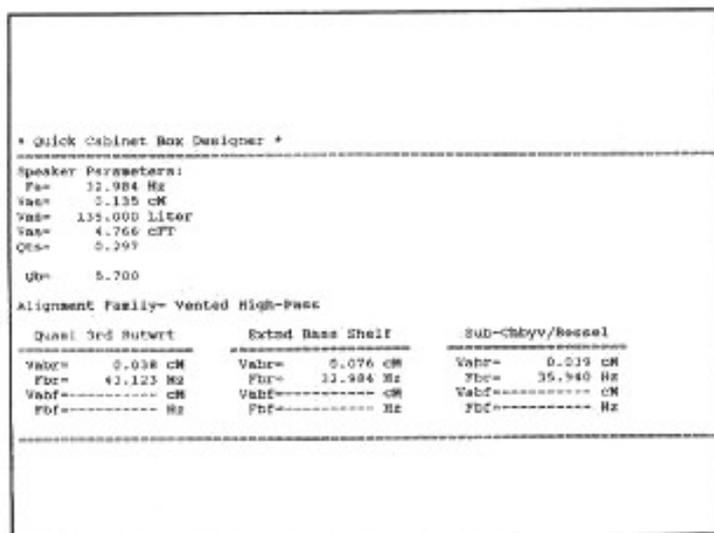


Fig. 7 : Le progiciel LEAP nous permet de simuler la charge bass-reflex du CA 25FEY/DD avec différents types d'alignement : Butterworth du troisième ordre, extrême-basse étendu, Bessel.

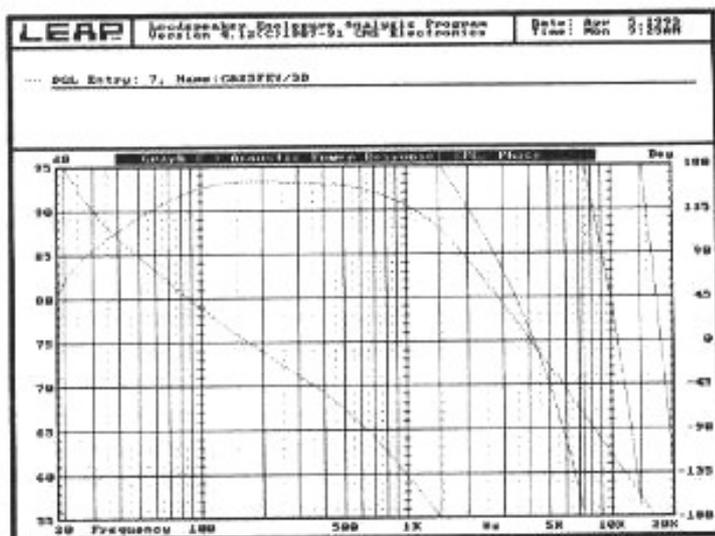


Fig. 8 : Simulation par LEAP du CA 25FEY/DD, dans ce cas précis et contrairement à CALSOD il est possible de simuler le haut-parleur en tenant compte des dimensions exactes de l'enceinte acoustique qui servira de charge.

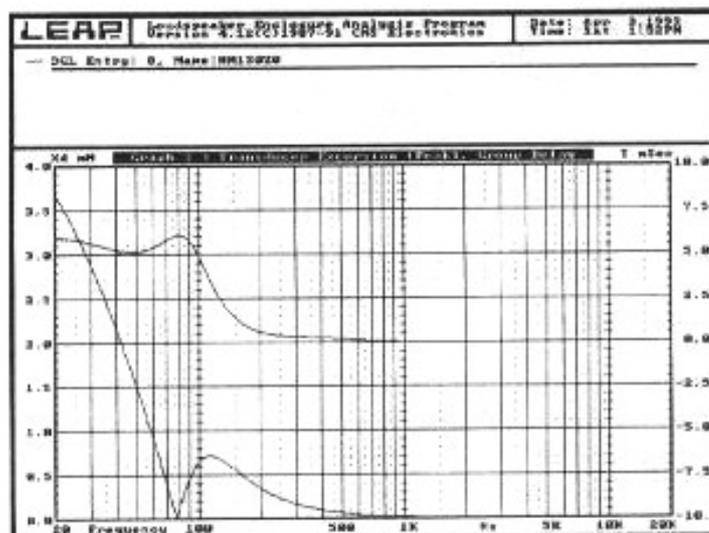


Fig. 9 : Simulation identique à la figure 8 : courbe de déplacement de l'équipage mobile, courbe de retard de l'équipage mobile en fonction de la fréquence.

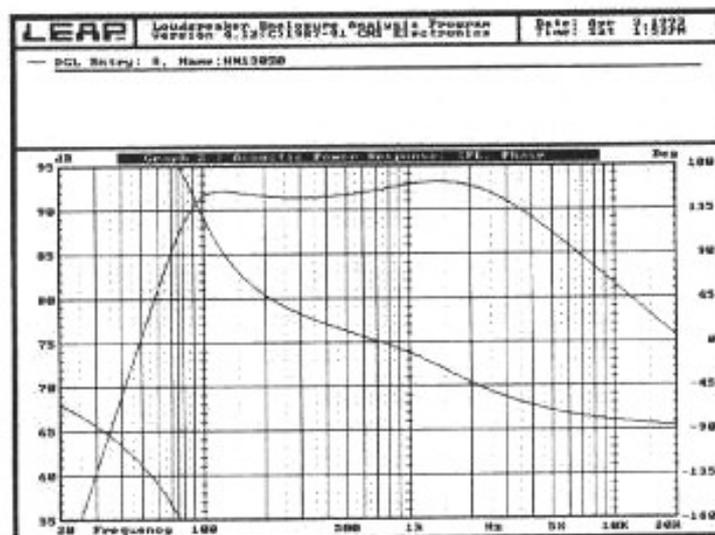


Fig. 10 : Simulation par LEAP du HM 130Z0 : le transducteur est placé dans une charge de type bass-reflex d'un volume de 4 litres. Le programme nous précise une fréquence de coupure souhaitable à 3,5 kg. Cette donnée est dictée par le diamètre du transducteur. Au-delà de cette fréquence, nous rencontrerions des problèmes de directivité.

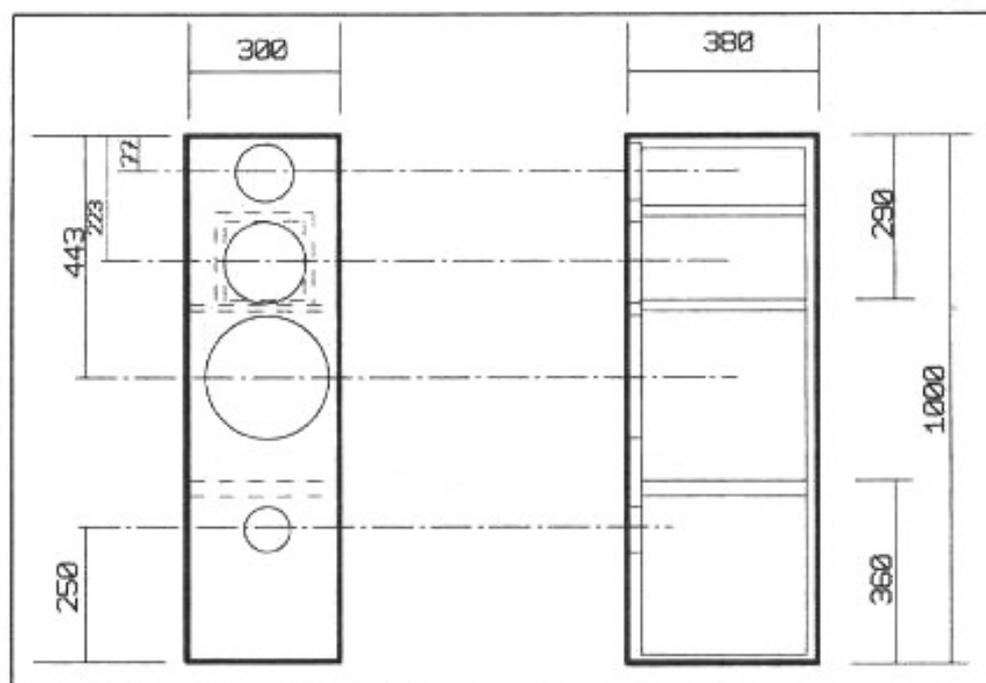


Fig. 11 : Plan simplifié de notre kit DSA. Le haut-parleur de grave CA 25FEY/DD est chargé en bass-reflex. Noter que nous avons placé de part et d'autre du haut-parleur deux résistances acoustiques réalisées à partir de deux planches en médite percées de nombreux trous. Le haut-parleur de médium HM 130Z0 est placé dans une charge de 4 litres de type bass-reflex. Comme les deux résistances acoustiques, la charge du médium servira en même temps à la rigidité globale de l'enceinte. Les panneaux intérieurs sont recouverts de plaques de bitume d'une épaisseur de 5 mm. Ces plaques sont collées à la colle néoprène. Cette colle dégageant des vapeurs qui attaquent les haut-parleurs, il sera conseillé de laisser sécher l'enceinte un ou deux jours avant d'y monter les haut-parleurs.

boomer. Ces résistances sont réalisées à partir de plaques de médite de 22 mm d'épaisseur dans lesquelles on a percé de nombreux trous d'un diamètre de 4 cm. Ainsi, l'amortissement acoustique est optimum. A l'arrière du haut-parleur de médium se trouve un second volume de 4 litres débouchant sur un évent qui sera placé à l'arrière de l'enceinte, l'évent du haut-parleur de grave étant situé sur la façade avant. La figure 11 représente le plan simplifié de cette enceinte. Tous les détails seront indiqués dans notre prochain article.

## Conclusion

Nous avons survolé le cahier des charges de notre nouveau kit DSA. La prochaine fois, nous entrerons dans le vif du sujet avec la description complète de l'ébénisterie et du filtre répartiteur de fréquences. CALSOD et LEAP nous permettront d'utiliser les mesures effectuées par MLSSA pour obtenir un filtrage idéal.

# ESPACE KIRON



Jean Hiraga

*En France, les expositions haute-fidélité de mars font partie d'une tradition qui remonte à 1957. C'est à cette date que la Revue du Son organisa avec la Fédération Nationale des Industries Radioélectriques la première "Semaine de la Haute-Fidélité", une manifestation qui devint par la suite le célèbre "Festival du Son".*

En 1987, la société Lectron avait battu des records du nombre de visiteurs lors de la présentation à l'Espace Kiron de l'amplificateur à tubes JH 50. Pour faire face à l'affluence des nombreux passionnés des haut-parleurs à haut rendement, des amplificateurs mono-triodes, La Maison de L'Audiophile a voulu également marquer l'inauguration de la vente directe des électroniques Lectron. Ces deux sociétés ont réservé à cet effet l'Espace Kiron (superbement réaménagé et situé à deux pas de La Maison de L'Audiophile), du 13 au 15 mars derniers, pour des démonstrations alternées de leurs différents produits.

Près de 1.500 passionnés, d'Audiophiles venus de toute la France et d'autres pays ont pu assister à des séries d'écoutes particulièrement bien organisées. Ces séances ont été assorties de deux conférences, l'une portant sur le timbre et la prise de son, par M. Claude Bailblé, l'autre sur l'histoire de la firme américaine Western Electric, par M. A. Balaton, ainsi que d'un concert (duo harpe et violon, avec

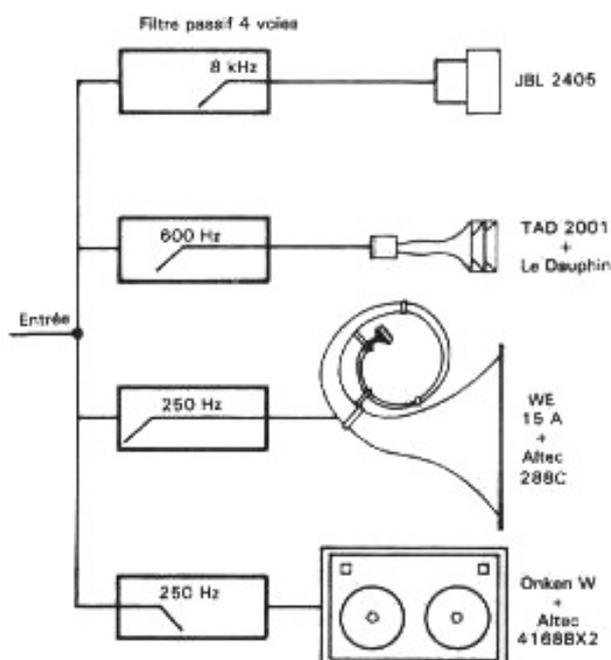
deux jeunes premiers prix du Conservatoire de Paris). A l'Espace Kiron, la grande salle de 160 m<sup>2</sup> a permis l'installation de trois grands systèmes de haut-parleurs.

## Les systèmes de haut-parleurs

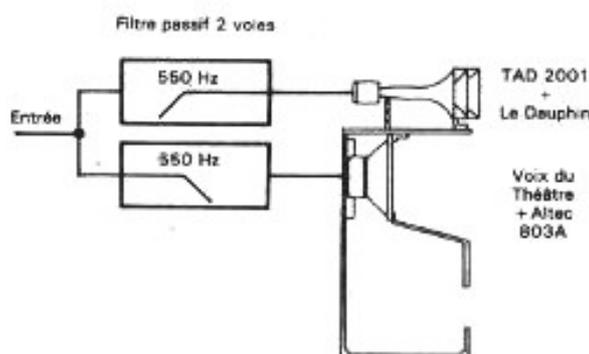
Le système principal, proche de celui présenté en 1987 se composait d'un caisson grave Onken W équipé de deux haut-parleurs 38 cm Altec 416-8B (coupure haute 250 Hz), du pavillon Le Dauphin Western Electric 15A (embouchure 1,45 m x 1,45 m) construit en 1928, associé à une chambre de compression 555 W (coupure basse 250 Hz), du pavillon Le Dauphin en bois sablé avec moteur 1" TAD 2001 (coupure basse 600 Hz, pas de coupure haute) et du tweeter JBL 2405 (fréquences supérieures à 8 kHz). Ce système à très haut rendement (près de 112 dB/m/W pour la voie de bas-médium) était associé à un filtre passif pourvu de différentes corrections destinées à améliorer la linéarité de la réponse en fréquence sur charge réelle. Le

second système était bâti autour de la Voix du Théâtre, version "revue et corrigée" avec haut-parleur grave 38 cm Altec 803A (ancêtre des séries 416, 416A, 416-8A et 416-8B). Il s'y ajoutait, dans le médium-aigu, l'ensemble Le Dauphin-TAD 2001, avec filtrage passif, fréquence de coupure 550 Hz et correction passive du médium-aigu assurant une extension de la réponse en fréquence jusqu'à 18 kHz. Le troisième système, plus rare, était constitué du système deux voies à haut-parleurs à excitation Klangfilm-Siemens, version Eurodyn de 1949, lequel était monté sur un grand baffle-plan de 2,40 m par 2,40 m, comme préconisé à l'époque par cette firme allemande pour les applications du cinéma. Les haut-parleurs aux moteurs à excitation imposants étaient le 38 cm Klangfilm KL-L401 et la chambre de compression 1" 1/2 KL-L301, le tout associé à un filtre passif corrigé avec fréquence de coupure 550 Hz. A cette époque où, en 1953, la firme Klangfilm (branche de Siemens fondée dès 1928 pour les applications du ci-

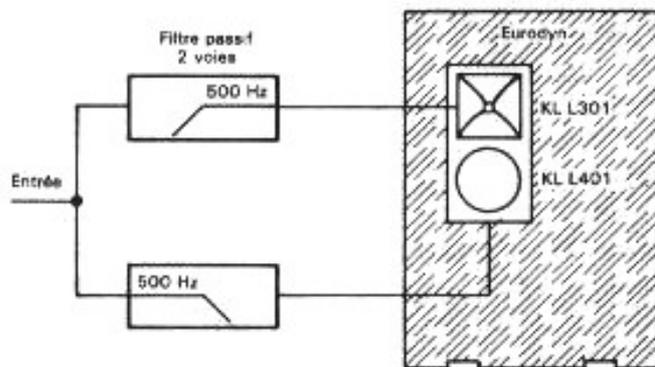
### Système Onken/Western/TAD/JBL



### Système Voix du Théâtre



### Système Klangfilm/Siemens Eurodyn



Synoptique des trois systèmes de haut-parleurs à haut rendement présentés à l'Espace Kiron.

néma parlant) disposait déjà d'équipements stéréophoniques 2, 3 et 4 pistes, ces haut-parleurs étaient également utilisés sur d'autres systèmes parmi lesquels figurent l'imposant Euronor, un monstre de 4,20 m de hauteur muni d'un gigantesque pavillon et de 7 haut-parleurs. Ici, l'écoute des grands baffles-plans Klangfilm-Siemens, version Eurodyn a pu mettre en évidence les qualités très étonnantes et malheureusement déjà presque oubliées des moteurs à excitation (ils étaient malgré tout sous-alimentés pour des questions de sécurité, compte tenu de leur date de fabrication et ne pouvaient en conséquence exprimer toutes leurs capacités) et aussi une avance technologique remarquable à une époque où les seuls adversaires étaient certainement les haut-parleurs et amplificateurs américains Western Electric.

Ces trois systèmes résolument hors des modes passagères et des dernières innovations ont été choisis, affinés au niveau de leur optimisation pour mettre en valeur d'une part les différentes électroniques présentées et, d'autre part, pour démontrer qu'au cours des années 20, 30, 50 ou 60, des ingénieurs ont conçu des haut-parleurs d'excellente qualité, dont le rendement pouvait dépasser 30% (contre 0,2 à 1% pour les réalisations actuelles) lesquels sont, aujourd'hui encore, capables de performances plutôt stupéfiantes, moyennant bien sûr leur remise en état ainsi que quelques modifications relatives aux filtres passifs associés. Précisons à ce titre qu'ordinateurs et logiciels associés ont été d'un grand secours pour l'optimisation aux mesures et à l'écoute de ces systèmes. Ces différentes optimisations ont notamment montré que, par rapport aux calculs classiques prenant pour base des charges résistives pures, des haut-parleurs non directifs et parfaitement droits en termes de réponse niveau/fréquence, les valeurs optimales

des composants LRC des filtres pouvaient différer très sensiblement (75  $\mu$ F au lieu de 23,4  $\mu$ F par exemple) des valeurs obtenues à partir de plusieurs méthodes de calcul classiques ou plus complexes. La configuration particulière du filtre passif 2 voies appliqué au système Voix du Théâtre modifiée a permis de démontrer qu'il était possible d'étendre la réponse dans l'aigu jusqu'à près de 18 kHz, même en dehors de l'axe, avec pour résultat le piqué, la réponse transitoire des meilleurs tweeters à chambre de compression du marché, mais sans les problèmes classiques liés aux différences de timbre, de personnalité sonore propre à chaque transducteur.

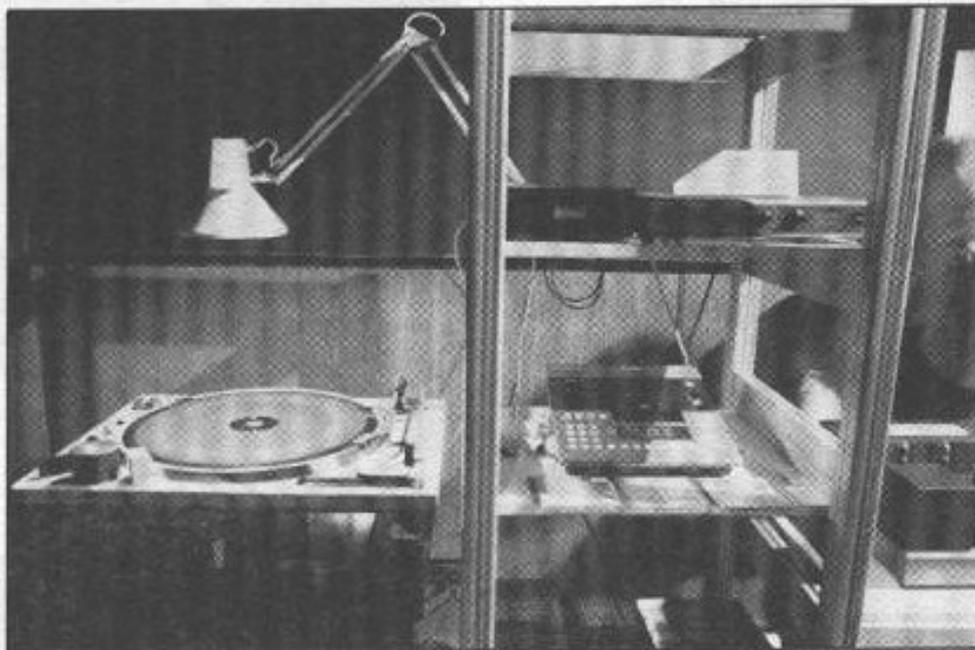
Ces systèmes ont, de plus, révélé également les qualités tout à fait remarquables des haut-parleurs utilisés ainsi que du célèbre pavillon en bois sablé Le Dauphin dont le seul défaut est sans doute de n'avoir été réalisé qu'à l'échelle artisanale. Le 15 mars, lors de la conférence de M. Balaton, un passionné de l'histoire de la haute-fidélité américaine et plus particulièrement des produits Western Electric, de nombreux visiteurs ont pu assister à l'écoute en large bande des grands pavillons 15A et des moteurs 555 que l'on doit considérer à juste titre comme la base de tous les moteurs à chambre de compression de qualité conçus depuis cette date. Ces démonstrations ont mis en valeur les qualités surprenantes d'un transducteur créé il y a plus de 60 ans. Le haut rendement (pour ne pas dire très haut rendement) n'a pas été sans rappeler une démonstration menée en 1986 à l'aide des mêmes pavillons, laquelle avait mis en évidence la générosité du niveau acoustique qu'il était possible d'obtenir à partir d'amplificateurs dont la puissance nominale était inférieure au watt.

## Conférences

La conférence de M. Balaton



Système principal Onken-Western-TAD-JBL, incluant le grand pavillon Western Electric 15 A.

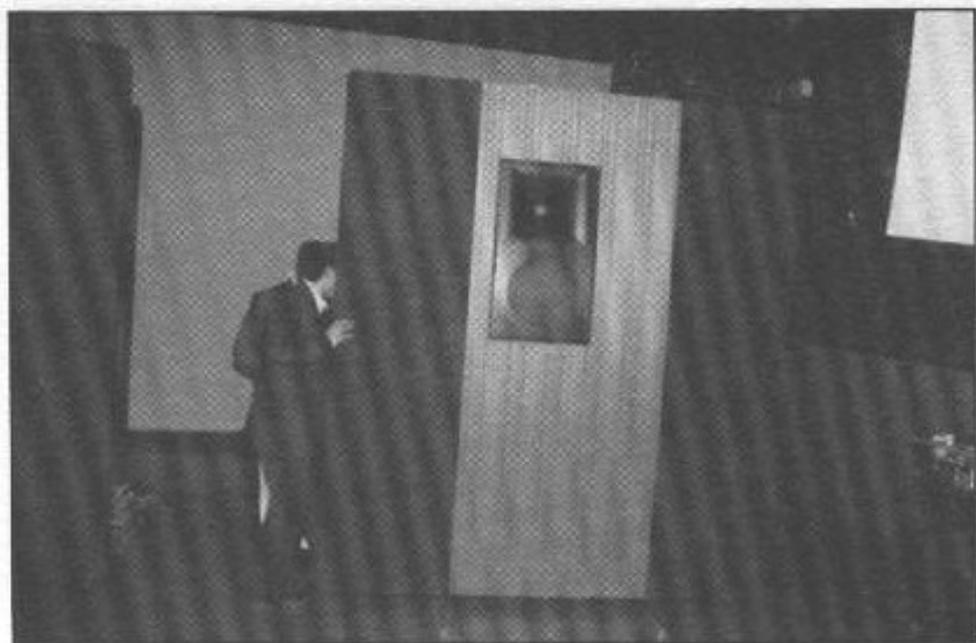


A gauche, table de lecture EMT 927 st, avec plateau de 44 cm, lecteur CD Studer D730. Au-dessus, préamplificateur Kanéda et Lectron PA 50.

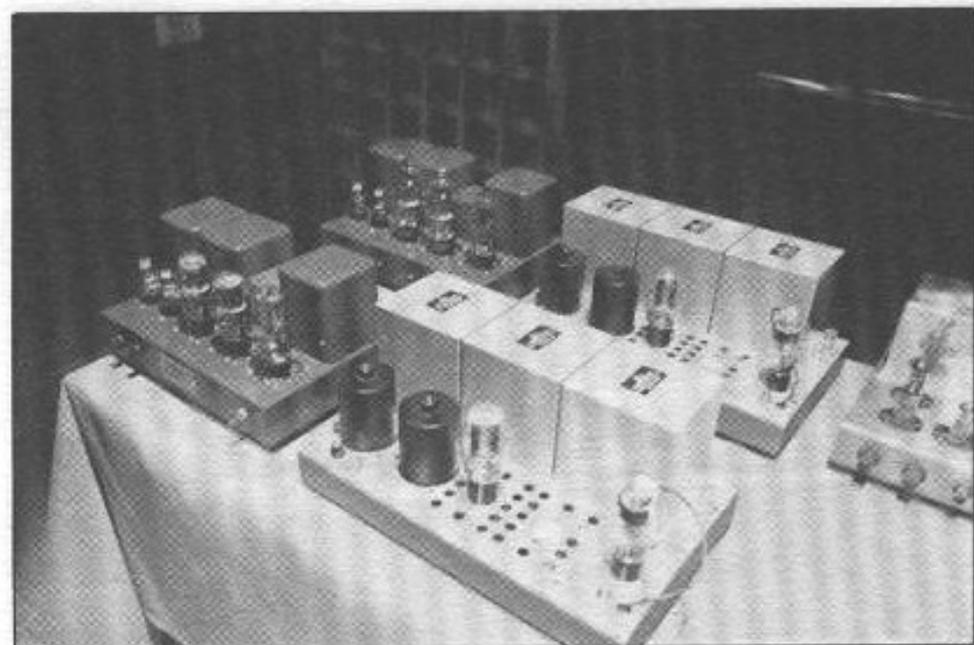
s'est étoffée de plusieurs écoutes incluant des enregistrements anciens ainsi que de la projection de différents documents relatifs à l'histoire passionnante de Western Electric et des laboratoires Bell Systems. On apprend ainsi qu'en 1931, ces laboratoires avaient non seulement déjà mis au point la stéréophonie sur disque microsillon 33 tours, mais que cette équipe avait déjà réalisé des systèmes de haut-parleurs haute-fidélité dont la

bande passante couvrait 30 Hz à 16 kHz à  $\pm 1,5$  dB près, grâce entre autres à une chambre de compression géante de 90 cm environ, équipée d'une bobine mobile de 45,7 cm de diamètre !

Quant à la conférence de M. Claude Bailblé, bien connu des lecteurs de *L'Audiophile*, celle-ci était abondamment illustrée de photos, dessins et tableaux relatifs à la directivité des instruments de musique, à la prise de son, à



Système Klangfilm-Siemens "Eurodyn", fabriqué en 1949, sur baffle plan de 2,40 x 2,40 m.



Electroniques Sun Audio SV-2A3 et SV-300B. En premier plan, amplificateur monotriode 300B "Legend".

l'acoustique ou encore aux aléas de la stéréophonie à deux canaux, un principe dont nous restons prisonniers depuis fort longtemps.

## Electroniques

Au cours de ces trois journées d'écoute, les démonstrations de durée moyenne 40 mn étaient alternées entre celles des produits Lectron et celles de La Maison de L'Audiophile.

La Maison de L'Audiophile pré-

sentait en exclusivité les amplificateurs à tubes SUN Audio. Cette firme qui a été fondée il y a une quinzaine d'années à Tokyo propose une série d'amplificateurs à tubes en kit à la fois simple et extrêmement bien étudiés avec, pour particularités, l'utilisation de transformateurs de sortie de haute qualité d'origine Tamura conçus spécialement pour cette société. Les deux appareils présentés (parmi une dizaine disponibles au Japon)

étaient le SV-2A3, amplificateur stéréo 2 x 3,5 W étage de sortie simple triode 2A3, étage d'entrée et driver 6SN7, ainsi que le SV-300B, de conception proche mais avec étage de sortie triode 300B en simple étage, portant la puissance nominale à 2 x 6 watts environ. Ces deux maillons ont rencontré, dès leur introduction sur le marché français un très vif succès. Ils ont pu donner leur pleine mesure sur le système d'écoute principal et montrer aussi que d'excellents résultats subjectifs peuvent être obtenus sans qu'il soit nécessaire de faire usage de contre-réaction ou de composants passifs très onéreux. C'est, à ce titre, une gamme d'appareils à tubes qui a su tirer le meilleur parti de ses composants actifs et passifs dans le cadre d'une formule en kit commercialisée à des prix particulièrement attractifs. La Maison de L'Audiophile complétait ces écoutes de celles de l'amplificateur 300B Legend, une version monotriode haut de gamme équipée de condensateurs de filtrage au polypropylène et de transformateurs Partridge (alimentation et sortie).

Chez Lectron, les écoutes concernaient principalement l'amplificateur hybride JH 60, que l'on peut considérer comme le successeur du JH 50. Puissance 2 x 50 W, étage d'entrée à gain et à courant élevés, étage de puissance push-pull EL34, cinq alimentations stabilisées, self de filtrage en tête, condensateurs de filtrages au polypropylène à très faible résistance équivalente série, transformateurs de sorties Partridge conçus spécialement pour Lectron, contre-platine suspendue pour les tubes de puissance.

Le JH 60 a su démontrer, y compris sur des systèmes à haut rendement des qualités exceptionnelles relatives à la réponse transitoire, au pouvoir d'analyse, à l'articulation dans le registre grave avec, en plus, un impact et des capacités dynamiques inégalées en regard de la

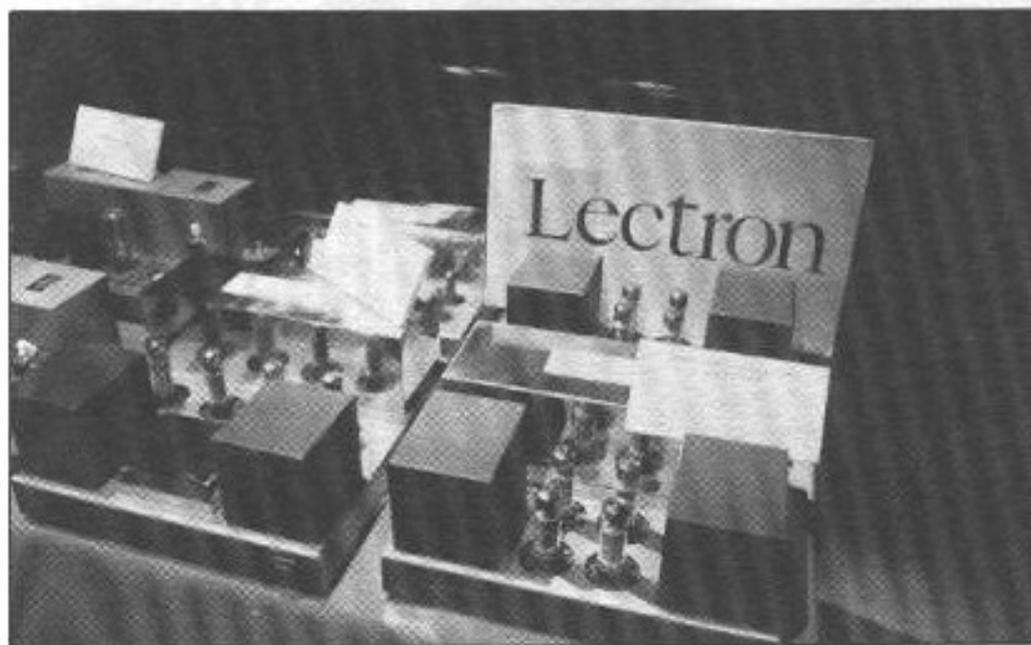
puissance réelle de 2 x 50 W seulement.

Cet amplificateur se complétait du préamplificateur à tubes PA 50 pourvu d'entrées haut niveau, avec possibilité éventuelle d'adaptation d'un boîtier phono pour cellules à aimant ou à bobines mobiles. Autres maillons présentés, le bloc mono JH 80 et l'intégré JH 30 (dont les qualités subjectives ont été récompensées par plusieurs distinctions en France et à l'étranger).

Pour ces électroniques presti-

gieuses, rappelons que l'adoption récente de la vente directe par les soins de La Maison de L'Audiophile a conduit à une baisse très sensible des prix et placent désormais tous les produits de la gamme Lectron à un niveau plus accessible.

Le vif succès rencontré par ces trois journées de démonstrations en laisse déjà présager d'autres, centrées soit sur des nouveautés ou sur d'autres thèmes de l'audio et de la haute-fidélité.



*Electroniques Lectron : bloc mono JH 80, ampli hybride JH 60, intégré hybride JH 30.*



*Les démonstrations ont battu des records d'affluence : près de 1 500 visiteurs.*

**Page non  
disponible**

# SUPER QUID



**L**

*e mois de mars fut, pour l'audiophile,*

*fertile en événements avec la 17<sup>e</sup> édition du Salon de la Haute-Fidélité 93 et les manifestations organisées par de nombreux spécialistes parisiens ainsi que la Maison de L'Audiophile à l'espace Kiron. Pour le Salon Haute-Fidélité 93, la moisson de nouveautés était très large, en particulier dans le très haut de gamme où le niveau des matériels présentés fut élevé. On a aussi assisté à une convergence des sources audio et vidéo pour recréer chez soi l'ambiance du cinéma, avec une intensité sonore aussi "percutante" que les images diffusées. Cette notion de "Home Theater" commence à entrer dans les mœurs. Nous y voyons un clin d'œil à l'histoire du cinéma et de la Hi-Fi puisque, rappelons-le, les premiers systèmes de haut-parleurs haute-fidélité, au tout début des années 50, étaient étroitement dérivés de ceux utilisés dans les salles de cinéma, les pionniers du parlant voulant un son à la grandeur et à la hauteur de l'image.*



La nouvelle série TI de JBL avec les trois modèles 1000, 3000 et 5000 dont le design rappelle la 250 TI. Les parois des coffrets sont hyper-rigides avec un sandwich de panneaux de haute densité séparés par une couche de bitume de 3 mm.



Ensemble Mac Intosh avec les blocs mono de 1.000 W et le tout dernier préampli C-40., avec égaliseur incorporé. Le Mc 275 à tubes est de retour sur souscription !

Les enceintes Tannoy encadrent les blocs de puissance Accuphase. Le nouveau lecteur DP 90 et le convertisseur DC 91 établissent de nouvelles normes d'exception.



Prototype de l'enceinte haut de gamme de Vision Acoustique avec grave de 31 cm, médium de 17 cm et tweeter de haute définition, modèle définitif fin septembre.





▲

*Le très musical lecteur CD Courtiol, dont le modèle Evolution utilise en sorties 4 tubes triodes conjointement avec un convertisseur modifié et une mécanique à palet presseur en aluminium. Les écoutes sur les panneaux électrostatiques AHL furent très remarquées.*



▲

*En haut, le nouveau lecteur CD Studer professionnel faisant appel à la technologie de conversion 1 bit mais avec convertisseurs sélectionnés.*

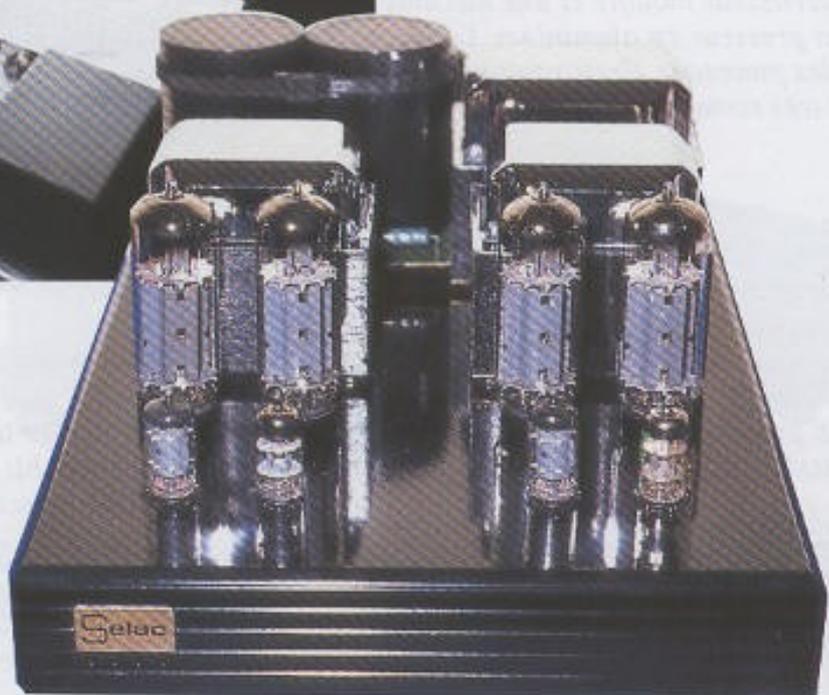
*Le stand AESD, avec présentation des enceintes monitor à amplificateurs intégrés dans le cadre d'un système actif de haute définition couvrant aussi bien les applications professionnelles que haute-fidélité domestique de grande définition.*

▼





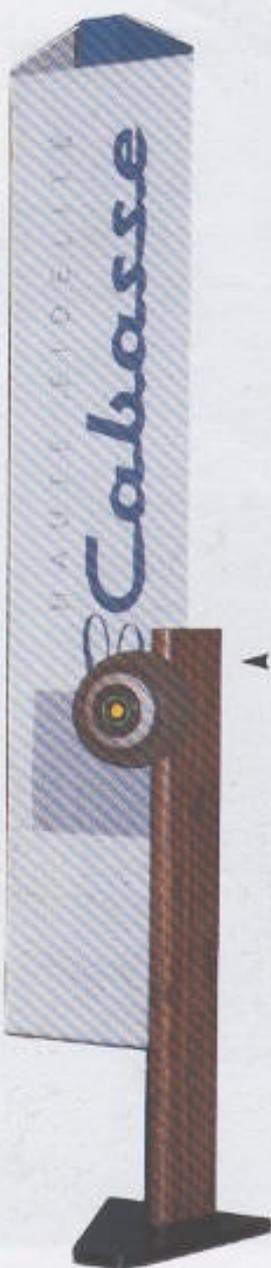
Dans le cadre de l'Espace Kiron, démonstrations enthousiasmantes des électroniques Lectron avec, en particulier, le JH 60 et ses transformateurs de sortie Partridge sans compromis. Une transparence et une définition extraordinaires sur les différents systèmes à haut rendement proposés.



Cabasse, l'événement de ce salon avec la nouvelle gamme multidôme coaxial pour une diffusion homogène qui s'apparente à une portion de sphère pulsante avec propagation du front d'onde respectant le sens initial. Une écoute sublime de naturel, de cohésion, de définition.

Selac, amplificateur à tubes avec push-pull de EL34 d'une puissance de 35 W par canal. Une version est proposée avec télécommande pour la commutation des entrées et le réglage du volume sonore.

Celestion. Les systèmes complets Home Theater 3 et 1 qui offrent l'avantage d'utiliser son amplificateur d'origine tout en bénéficiant du procédé Dolby Pro Logic.



*Isem. Deux nouveautés importantes : le préamplificateur actif Novalis 4 et l'amplificateur Novalis 5 de 2 x 50 W en classe A. Les châssis en alliage léger sont très rigides et assurent une dissipation thermique optimale.*



*Krell : le lecteur CD de référence pour une sublime écoute en compagnie des amplificateurs Krell Audio Standard en pure classe A sur les panneaux à ruban Apogee Grand.*

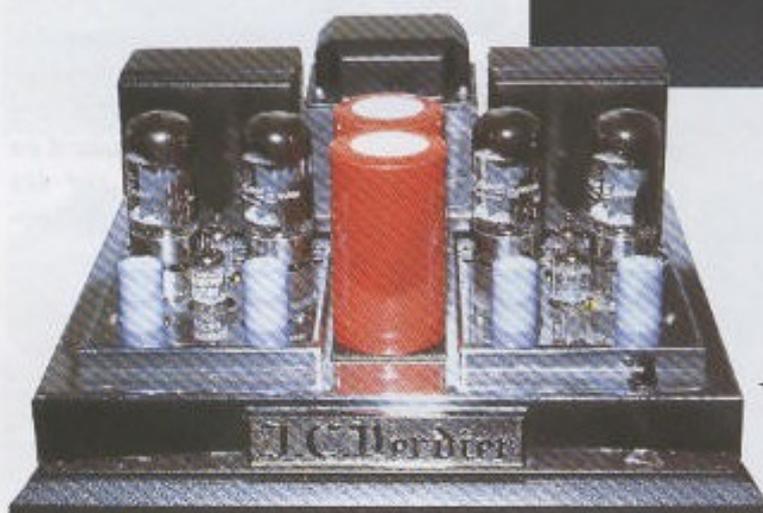


*Le nouveau lecteur CD Cyrus avec chargement par le dessus et châssis ultra-rigide anti-résonnant, une nouvelle approche de la haute-fidélité musicale à prix abordable qui remportera très certainement un vif succès.*

*Rehdeko : une gamme d'enceintes à très haut rendement pour une capacité dynamique optimale et un très haut pouvoir de définition, une démarche originale pour se rapprocher de la dynamique du concert.*



Un aperçu de la gamme des amplificateurs **Threshold** avec, au premier plan, les électroniques **Metaxas** avec, de part et d'autre, les grands systèmes électrostatiques **Sound Lab**, **Dynastat**, **Pristile** et **A3**. A remarquer aussi la platine CD **Barclay Digital M1** et les nouvelles **Duntech Princess MKII**.



**Verdier "l'Ampli"** avec étage d'entrée de type SRPP, déphaseur de Schmidt et push-pull de 6550 en montage ultra-linéaire. Une superbe écoute hautement musicale sans contrainte de dynamique.

La gamme très diversifiée **Solid** de chez **BW** qui, sous un design jeune, coloré, propose des enceintes attractives sur le plan musical avec une bonne tenue en puissance.

**Elipson**. Une gamme d'enceintes colonnes à la réponse ultra-rapide avec une belle tenue en puissance reprenant aussi le principe de charge symétrique selon un brevet de la marque pour un minimum de traînage et de distorsion.



**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

**Page non  
disponible**

CLASSIQUE

La  
Création  
musicale

## LE LIED

**L**

*e lied ! Une forme souvent suspectée par les mélomanes.*

*A cause de la voix soliste, accompagnée d'un modeste piano... du ton confidentiel. Et puis, le lied rejette l'éclat des grandes pages orchestrales et le faste de l'opéra...*

*Bref, c'est bien à tort qu'il déconcerte car il est l'une des formes musicales les plus profondes, où tout "maquillage" est exclu, où le cœur et l'esprit conversent, seuls, face à face. Suprême rencontre entre la musique des mots et la poésie des sons...*

La récente réédition des lieder de Schubert par Dietrich Fischer-Dieskau nous a incités à cette présentation, dans l'esprit de celles déjà consacrées aux grandes formes classiques.

### Qu'est-ce qu'un lied ?

C'est une composition vocale monodique, le plus souvent accompagnée par le piano, qui met en lumière les vers d'un poème, généralement court. Il faut se garder, en dépit des apparences, de l'assimiler à la "mélodie", d'inspiration française, à la fois, sophistiquée, et plus abstraite. Bien sûr, on est amené à traduire le terme de "lied" par "mélodie", et réciproquement. Mais ceci concerne la lettre, non l'esprit. Mieux vaut conserver le terme germanique, en fait, intraduisible. Tant il est vrai qu'un

monde sépare "La Bonne Chanson" de Fauré du "Voyage d'Hiver" de Schubert...

### Aperçu historique

On pourrait distinguer le volkslied (populaire) du Kunstlied (artistique) ; mais, en réalité, leur origine est commune. Remontons aux Trouveurs !...

A la fin du XIII<sup>e</sup> siècle, la poésie des trouvères de langue d'oïl, très prisée au nord de la Loire, franchit, peu à peu, le Rhin. Dans un premier temps, les trouvères allemands se contentent de traduire les chansons dans leur langue, après quoi ils en composent d'originales. Mais, en passant de la langue d'oïl à l'allemand, ils modifient la carrure rythmique des mélodies, qui prennent un caractère franchement syllabique, alors que la coupe générale de-

vient strophique... Le lied voit le jour... Les Minneänger (chanteurs d'amour), trouveurs de langue allemande, en composent de nombreux. Parmi eux, on peut citer Walther von der Vogelweide (immortalisé par Wagner dans Tannhäuser), Neidhart von Reuertal, Konrad von Würzburg, Heinrich von Meissen. La plupart des lieder qu'ils écrivent sont très raffinés. Tous se signalent par leurs tournures syllabiques, qui rompent avec les longs mélismes des troubadours (Sud, fin XI<sup>e</sup> - fin XIII<sup>e</sup> siècles), eux-mêmes hérités du Chant grégorien.

Ainsi le lied chemine (volkslied et kunstlied), jusqu'à la Réforme...

Luther, entre autres, traduit en allemand des mélodies grégoriennes. Ce sont souvent des hymnes. Les mêmes causes produisant les mêmes effets, à

nouveau, l'esprit syllabique se dessine... Et la forme strophique demeure. Mais le volkslied va, du même coup, inspirer le grand réformateur, qui apprécie sa simplicité, sa concision, sa clarté, mettant bien en valeur le Verbe... Chacun aura compris que le choral luthérien, fait de phrases courtes (périodes), syllabiques, n'est autre qu'une variante religieuse du volkslied. Là encore, l'esprit germanique souffle.

Le lied profane, usant d'harmonies plus souples, apparaît dans des pages de Heinrich Albert, un cousin de Schütz, au milieu du XVII<sup>e</sup> siècle. Il s'inspire modérément des arias avec basse continue de Caccini et de Monteverdi. Ses huit livres d'airs religieux et profanes, publiés en 1638 et 1650 peuvent être considérés comme les premiers lieder. Puis, Hammer-schmidt, Krieger, Theile en composent à leur tour. Le lied est maintenant devenu une variante allemande de l'aria italienne. Cependant, le syllabisme l'emporte sur les vocalises ! Bach, lui-même, compose un important "Livre de chants de Schemelli" réunissant soixante-neuf mélodies de caractère spirituel. L'ouvrage fut publié à Leipzig en 1736. L'esprit du choral y règne en maître...

C'est au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle que le lied fait son entrée, bien timide d'ailleurs, dans l'opéra. Gluck,

*La partition de "Der Tod und das Mädchen".*



Franz Schubert.

Haydn, puis Mozart y ont parfois recours. On songe au fameux "air" - en fait, un lied - de Papageno au tout début de la "Flûte enchantée". Par ailleurs, Mozart compose au cours de sa carrière une quarantaine de lieder dont certains se retrouvent dans des pièces plus conséquentes (ex. : "Sehnsucht nach dem Frühlinge" qui se trouve être à l'origine du final du Concerto pour piano K 595). D'importantes collections de lieder voient le jour à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, de Telemann à Quantz, de Rheichardt et Zelter à C. Ph. E. Bach. On retiendra de ce dernier les "Oder und Melodien" de 1753-55 et les "Lieder der Deutschen" de 1767-68.

Chez Beethoven, le lied se teinte d'ombre et de lumière. Le romantisme gronde... Ce n'est pas là que le maître de Bonn donne le meilleur de lui-même. Pourtant, il laisse le nombre non négligeable de soixante-quinze lieder. Parmi ceux-ci, le cycle célèbre "A la bien-aimée lointaine".

Puis, tout à coup, le lied renaît, sous sa forme définitive. Schubert lui donne son plein épanouissement. Comme si l'antique chant syllabique n'avait rien été d'autre que le lied romantique allemand ! Schubert possède la culture littéraire nécessaire ; il a le génie des formes brèves et, surtout, un instinct poétique infailible. Au total, plus de six-cents lieder d'une infinie variété, dont beaucoup comptent parmi

les plus hautes inspirations de la musique occidentale. Schubert a conçu trois cycles : La Belle Meunière, Le Voyage d'hiver et Le Chant du Cygne. Ce dernier fut organisé, artificiellement, après la mort du compositeur. Schubert, dans ses lieder, conserve toujours une saveur populaire, bien qu'il puise ses textes chez les plus grands poètes de son temps : Goethe, Schiller, Heine, mais aussi chez ceux du passé : Pétrarque, Eschyle, Dante, Shakespeare...

Avec Schumann, le lied devient plus littéraire et philosophique. Le piano prend une dimension quasiment symphonique, il est l'un des éléments fondamentaux du discours, notamment dans les deux grands cycles "Dichterliebe" et "Frauenliebe und leben". Rien d'étonnant, suivant cet exemple, que Mendelssohn s'essaie à concevoir des "Lieder ohne Worte"... sans paroles ! Schumann a écrit quelque deux cent cinquante lieder...

Les mêmes préoccupations littéraires se retrouvent chez Brahms (trois cents lieder) qui, pourtant, à l'instar de Schubert, privilégie une lyrique populaire rappelant le volkslied. Mendelssohn a laissé environ quatre vingt lieder, remarquablement écrits.

Puis vient Hugo Wolf : le renouvellement de la forme se précise. S'inspirant très librement de Wagner, il adapte le principe de la déclamation continue. La métrique du mot, du vers, de la phrase, calquée sur le langage parlé s'impose à la ligne mélodique. Déjà se dessinent les futures aspirations de Schoenberg... Le piano, comme l'orchestre chez Wagner, "exprime l'inexprimable" ; il forme un tout avec la voix qui, sans lui, serait sans objet. Au niveau du langage, Wolf use hardiment du chromatisme, sapant ainsi les bases du langage tonal.

Le renouvellement s'accomplit avec Gustav Mahler qui substitue l'orchestre symphonique au piano. Le lied devient symphonique. De plus, il s'insinue dans quatre symphonies dont il est la substance dramatique et poétique. Le "Chant de la Terre" n'est autre qu'une suite de lieder. Par ailleurs, Mahler a conçu une quinzaine de lieder avec accompagnement de piano. Esthétiquement, le lied mahlerien est une magistrale synthèse entre les idéaux les plus nobles, mythiques même, et les débordements les plus intenses. Union extrême du volkslied et du kunstlied ?



Ajoutons que beaucoup de ses mélodies exhalent un parfum aux puissantes senteurs juives.

Les différents cycles seront énumérés dans la discographie.

Au XX<sup>e</sup> siècle, **Alexandre Von Zemlinsky**, puis **Arnold Schoenberg** remodelent profondément la silhouette de la vieille forme médiévale. Dans son "Pierrot lunaire" (1912), Schoenberg inaugure le "Sprechgesang" ou "Sprechmelodie" chant parlé, où toute inflexion mélodique traditionnelle disparaît au profit d'"intonations" expressives. Cependant, on peut constater que le syllabisme et la structure strophique ont survécu... Schoenberg avait également composé en 1908 le cycle "Les Jardins suspendus", pour voix et piano.

Enfin, on ne saurait passer sous silence les cent cinquante lieder de **Richard Strauss** qui revêtent bien souvent les parures fastueuses de l'opéra. Ce que certains lui ont d'ailleurs reproché...

## Les caractères du lied

Contrairement à la mélodie (française ou russe), le lied prend des tournures populaires. Il est fréquemment aisé à mémoriser. La structure strophique, le syllabisme, favorisent cette assimilation. A la différence de l'aria italienne, il exclut tout vocalise et tout effet de virtuosité. Mais il faut songer également au rôle du piano, essentiel, qui va bien au-delà d'un simple accompagnement. Il plante le décor, suggère les atmosphères et exprime le non-dit. Les introductions, les codas (chez Schubert et Schumann surtout) ont un puissant impact dramatique. Il n'est pas exagéré de prétendre que le piano est un acteur à part entière.

## Les principales formes du lied romantique

Laissons en effet les lieder médiévaux baroques et classiques et venons-en à l'essentiel... Globalement il existe deux formes majeures : le **lied strophique** et la **ballade**.

- **Le lied strophique**. C'est la forme la plus orthodoxe. La musique se reproduit de façon identique à chaque couplet, ou strophe. Nombre de lieder, de Schubert, de Schumann sont ainsi faits. Citons chez Schubert : "Heiden-Röslein", "An die Musik", "Mignons Gesang". Chez Schumann : "Im wun-

derschönen Monat Mai" (Dichterliebe).

Le lied strophique est, parfois, légèrement varié. Quelques modifications sont introduites, en fonction du texte ; mais ces variantes sont minimes. Elles peuvent concerner la partie pianistique ou le chant Schubert : "Die Forelle", "Gute Nacht". Mahler "Revelge" (Das Knaben Wunderhorn).

- **La ballade**. On pourrait également l'appeler lied évolutif ou continu. Comme dans les madrigaux italiens de la fin du XVI<sup>e</sup> siècle, le texte est souverain. La musique doit l'expliquer. L'auteur s'accorde toute liberté pour le mettre en valeur, usant de tous les moyens expressifs et musicaux. Il peut même introduire le récitatif (Schubert : "Der Liedler"). Ce genre dramatique



Gustav Mahler.

est magnifiquement illustré par le sublime "Erlkönig" de Schubert.

En fait, nous sommes, ici, bien proches de l'esprit du poème symphonique.

**Remarque** On rencontre parfois des lieder ternaires de coupe ABA. Dans ce cas, la composition repose sur deux éléments contrastés, dont le premier est redit in fine, non sans quelques modifications.

On retrouve en quelque sorte la structure tripartite de l'aria italienne. Cette structure s'apparente étroitement à ce que l'on appelle, dans l'univers instrumental, la "forme lied". Elle concerne le plus souvent les mouve-

ments lents de symphonies, de concertos, de sonates. En fait, les liens avec le lied sont assez lâches, excepté la coupe ABA. En outre, la "forme lied" suppose que chacun des éléments A et B soit lui-même organisé en trois sections a, b, a'... Ce que le lied tripartite n'envisage pas... Sans doute, le caractère mélodieux, "cantabile", des mouvements lents instrumentaux, a-t-il rappelé l'esprit du lied ?...

## Essai discographique

Un répertoire immense, somptueux, souvent bouleversant. Il faut absolument faire l'effort de pénétrer cet univers intensément poétique, d'une incomparable pureté. Les émotions sont fortes, peut-être plus qu'ailleurs ! Il n'est pas de grande voix qui, un jour ou l'autre, ne se soit consacrée au lied. De grands noms : Schwarzkopff, Flagstad, Hotter, Wunderlich, Fassbaender, Studer, Te Kanawa, Schreier, Fisher-Dieskau, ont émaillé l'extraordinaire discographie du lied.

Voici donc un choix subjectif, pour lequel nous nous contentons de mentionner les étoiles et la note technique (de 1 à 5).

• Minnesänger und Spiellente  
(Studio der frühen Musik ;  
dir. : Thomas Binkley)  
**Teldec "reference" 8.44015** va être  
réédité avec une nouvelle référence)  
\*\*\*\*\* 4

• Minnesänger und Meisterzinge  
(Andrea von Ramm ; Sterling Jones ;  
Timothy C. Nelson)  
**Cristoforus CD 74 542**  
\*\*\*\*\* 4

• **J. S. BACH**  
Lieder aux Schemellis Gesangbuch  
(Peter Schreier ; Karl Richter)  
**Archiv Galeria 427 131-2**  
\*\*\*\*\* 4

• **W.A. MOZART**  
Lieder (intégrale)  
(Elly Ameling ; Dalton Baldwin ;  
Elisabeth Coymans)  
**Philips 2 x CD 422 324-2**  
(volume 24 de l'intégrale Philips)  
\*\*\*\*\* 4

• **L. VAN BEETHOVEN**  
"An die ferne Geliebte"  
et autres lieder  
(Dietrich Fischer-Dieskau ; Jörg Demus)  
Avec 6 lieder de Brahms  
**DG 415 189-2**  
\*\*\*\*\* 4

• **F. SCHUBERT**  
- Enregistrement intégral des lieder

**Page non  
disponible**

# POINT DE VUE

## L'ENREGISTREMENT CHEZ DEUTSCHE GRAMMOPHON : une technique d'avant-garde

**D**

*Florian et Maxime Louineau*

*Depuis sa création au siècle dernier par Emile Berliner, la firme Deutsche Grammophon s'est attachée à concevoir et à réaliser son propre matériel d'enregistrement quand l'équivalent en terme de qualité n'existait pas sur le marché.*

*Au début des années 80, l'apparition du numérique fut considéré par beaucoup comme une panacée en matière d'enregistrement. Ce procédé s'est depuis largement répandu au point qu'il est maintenant rare qu'un éditeur réalise un disque sans la mention DDD ! Soyons justes, la qualité sonore des disques en question a largement profité de cet état de fait même si, à l'évidence, les premiers enregistrements numériques n'étaient pas exempts de "défauts de jeunesse".*

Conscients à la fois des limites mais aussi des promesses de ce nouveau standard, les ingénieurs de Deutsche Grammophon ont mis au point un système d'enregistrement, le 4 D audio recording dont l'objectif majeur est de tirer le meilleur parti de la technologie audionumérique.

### **4D audio recording : le concept**

Il s'agit bien d'un concept, en effet, plutôt que d'une amélioration unique. Le système 4D englobe toute la chaîne de traitement du signal, en partant des microphones utilisés lors de la prise de son jus-

qu'à la réalisation du master. L'idée directrice est de numériser le signal le plus tôt possible afin de ne traiter ensuite, y compris au mixage, que des informations numériques (v. fig. 1). Un tel projet demande bien sûr des investissements énormes. C'est pourquoi la Deutsche Grammophon a été a-

menée à travailler en collaboration avec la firme Yamaha.

L'exemple illustré figure 1 nous montre la configuration du système. Les trois consoles de mixage numérique DMC100 fabriquées par Yamaha sont situées en salle de contrôle. Chaque console "gère" en fait huit voies d'enregistrement et possède son propre boîtier de télécommande (visible au-dessus de chaque console) des préamplificateurs pour microphones. Un réseau numérique symbolisé sur cette figure par le trait hachuré assure la liaison vers les préamplificateurs et les convertisseurs A/D situés en salle de prises (principe du "stage-box"). D'analogique il ne reste donc que les microphones et leurs câbles (avec, bien entendu, les préamplificateurs qui leur sont associés). On rejoint ainsi l'évolution vers le "tout numérique" évoquée dans le n° 16 de *L'Audiophile* (le CD et sa genèse) mais à l'échelle d'un complexe d'enregistrement d'envergure internationale.

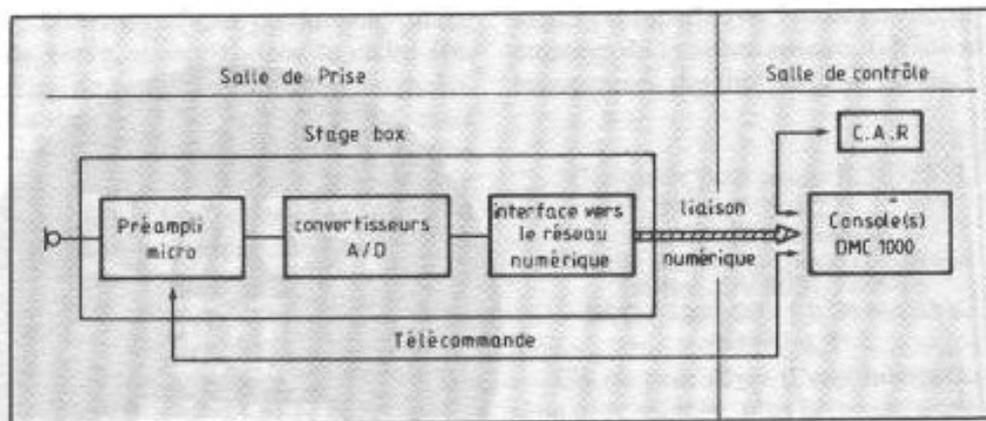


Fig. 1 : Synoptique général du système 4 D Audio Recording.

- l'égalisation de cette console mérite une mention particulière. Le panneau de commande (voir photo 2) est unique et affiche dès son affectation sur une voie les paramètres actuels de la voie considérée (affichage de la position relative des codeurs rotatifs par LED, les courbes et valeurs numériques correspondantes étant visibles sur l'écran LCD).

Cet égaliseur est entièrement

paramétrique à quatre bandes, la plage de fréquence est identique pour chaque bande (20 Hz-20 kHz). L'action par bande est de  $\pm 18$  dB par pas de 0,5 dB avec un Q ajustable de 0,1 à 8,16. Il est possible de commuter les deux bandes extrêmes en mode peak du shelf. Tous les paramètres (égalisation, niveaux, panoramiques...) de la console sont mémorisables et leur gestion en

## La console de mixage numérique Yamaha DMC 1000

Véritable cœur du système 4D, cette console (voir photo) ne traite que des signaux numériques et en dépit de son apparence simplissime n'a rien à envier aux "monstres" que l'on a coutume de voir trôner en régie. Les possibilités sont impressionnantes : pour l'anecdote les "tonmeisters" de Deutsche Grammophon reçoivent une formation de six mois afin de maîtriser cette machine ! En voici un bref aperçu :

- 22 entrées disponibles en mixage ;
- atténuateur numérique par voie (96 dB/pas de 1,3 dB) ;
- retard numérique par canal jusqu'à 370 ms/pas de 16,38 ms.
- la résolution interne, selon les fonctions traitées, va de 24 à 32 bits.

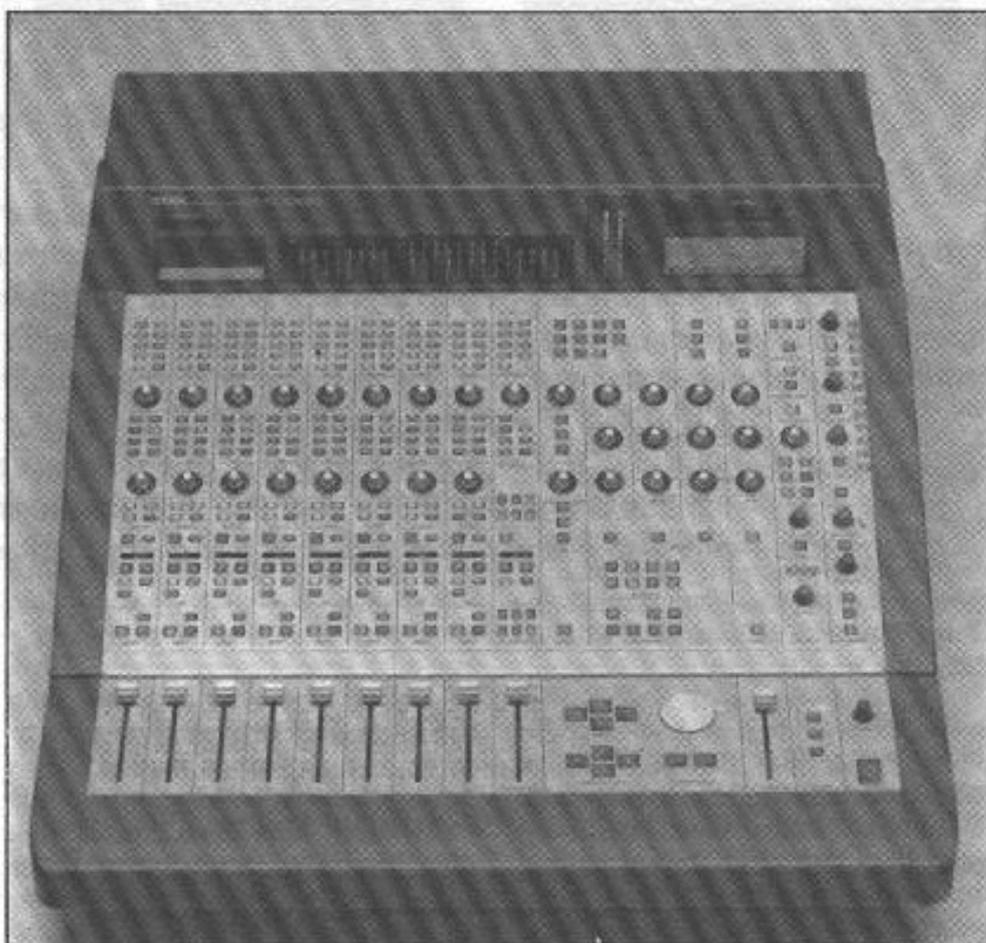


Photo 1 : Table de mixage numérique DMC 1000.

mixage ou pendant un enregistrement automatisé. La DMC 1000 étant "pilotee" par soft, les ingénieurs de chez Deutsche Grammophon ont incité Yamaha à écrire une version du logiciel qui leur soit spécifique : la version 1.30 G. Cette dernière version tient compte des besoins dictés par l'expérience de Deutsche Grammophon : on peut réellement parler ici d'enregistrements assisté par ordinateur (CAR : Computer Aided Recording).

## Le principe du "Stagebox"

Dans un studio d'enregistrement à l'architecture traditionnelle, il est courant de dénombrer un minimum de cinq points de connexion ou de commutation (patchbay) entre un microphone et la console de mixage. Même l'utilisation d'une connectique de haute qualité (fort coûteuse au demeurant) laisse subsister le risque de dégradations des signaux bas niveaux issus des microphones qui transitent vers la console.

Aussi s'affranchir des liaisons analogiques et de leurs inconvénients était impératif; le moyen d'y parvenir était d'assurer l'amplification et la conversion du signal issu des microphones en salle de prise de son et non pas en régie. Les ingénieurs du recording center de la Deutsche Grammophon ont développé un "boîtier de scène" qui prend la forme d'un rack 19" et dans lequel sont inclus :

- les préamplificateurs pour microphones ;
- les convertisseurs A/D DG8X Delta Sigma 21 bits fabriqués par Yamaha pour la Deutsche Grammophon ;
- l'interface avec le réseau numérique de liaison vers la console en salle de contrôle.

Ces préamplificateurs groupés par huit sont entièrement télécommandés et permettent un réglage très précis du gain directement depuis la salle de contrôle sans déran-

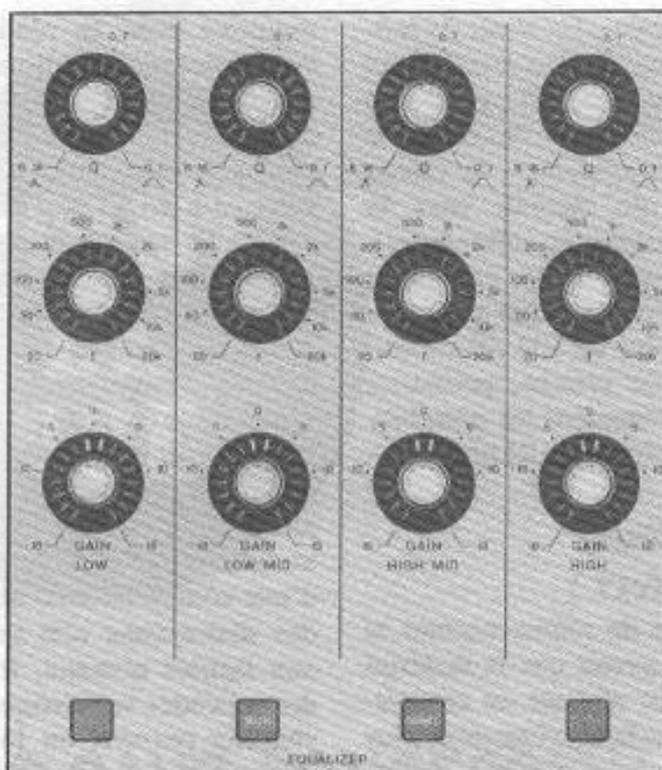


Photo 2 : La section égalisation de la DMC 1000 (voir texte).

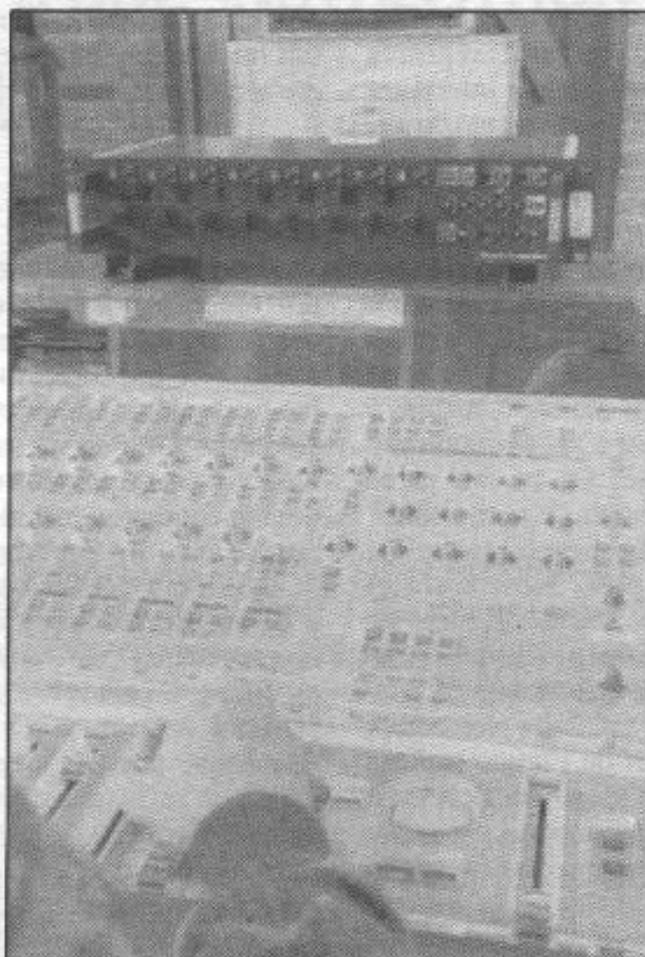


Photo 3 : Une DMC 1000 en cours d'utilisation chez Deutsche Grammophon. Le rack posé sur le bandeau commande les préamplis micro.

ger les musiciens. En sortie de pré-ampli, le signal attaque directement les convertisseurs A/D pour être après acheminé sur un des éléments essentiels du système : le réseau numérique de liaison vers la console (numérique elle aussi). Galvaniquement isolé, ce réseau autorise une dynamique de transmission de plus de 144 dB ce qui, dans un futur proche, permettra d'utiliser pleinement les possibilités des convertisseurs 24 bits.

## Le problème du transfert :

Il est tout de même normal et rassurant de savoir que le matériel employé pour réaliser un enregistrement est technologiquement plus performant que celui utilisé par l'acheteur de CD pour lire cet enregistrement. A l'époque où seul l'enregistrement analogique existait, aucun problème ne pouvait se poser : les médias utilisés pour la diffusion des produits enregistrés (vinyl, cassettes), étaient inférieurs en qualité (rapport signal/bruit, distorsion...) aux technologies présentes en studio d'enregistrement. L'arrivée du CD permit de mettre en avant quelques petits problèmes : il est difficile de faire accepter à une oreille qui s'habitue au silence qu'un soupçon de bruit de fond dû au procédé utilisé à l'enregistrement n'est pas contraire à la musicalité. De ce fait et en partie afin d'éviter ce petit "shhh" vexant, l'audio-numérique s'est peu à peu imposé. Néanmoins et après quelques années de recul un consensus se dégage duquel il ressort finalement que 16 bits ne permettent pas de satisfaire pleinement l'organe auditif de l'homo sapiens (du moins à l'étape de l'enregistrement). Ce qui conduit naturellement l'utilisateur professionnel, en perfectionniste acharné qu'il est, à s'équiper d'un matériel muni de convertisseurs 20 bits (voire 21 bits dans le cas de DG). Le but à atteindre, à terme étant d'utiliser un

matériel dont la résolution des convertisseurs atteint 24 bits. Augmenter la résolution des convertisseurs qui équipent le matériel utilisé pour enregistrer ce qui deviendra un CD est en soi profitable à la qualité du produit final. Mais la question qui reste à élucider est : comment passer d'une résolution moyenne de 20 bits par échantillon (par exemple) à celle immuable du CD (16 bits par échantillon) sans perdre tout le bénéfice de la technologie utilisée jusqu'au master ? La simple troncature des 4 LSB (dans le cas d'une source 20 bits) aboutissant à des distorsions non négligeables aux faibles niveaux, le recours à des procédés sophistiqués de noise shaping permet en intégrant les mécanismes de l'audition d'obtenir après transfert sur 16 bits une dynamique subjective proche des 20 bits originaux. Le procédé de transfert Authentic Bit Imaging propre à Deutsche Grammophon fait lui vraisemblablement appel à ces techniques de Noise Shaping.

## De nouvelles possibilités

Si un système tel que le 4D audio recording permet de réaliser des prises de son d'une très haute qualité, il implique toutefois un haut niveau de compétence : chez Deutsche Grammophon les ingénieurs du son possèdent tous une double formation technique et musicologique. Ils sont ainsi capables de travailler de concert avec le chef d'orchestre (sans rire) lors des enregistrements. Pour cette firme qui, rappelons-le, enregistre plus d'une centaine de disques par an, le tout numérique possède un autre avantage : il offre une incomparable facilité d'édition de la matière sonore, ce qui permet de "revenir" sur un enregistrement, à savoir de le remixer afin de modifier à loisir sa couleur et son équilibre. La sortie de la collection Karajan Gold est un bon exemple de ce type de

démarche. Cette collection comprend 20 CD enregistrés en numérique par Deutsche Grammophon durant la dernière décennie, couvrant une bonne partie du répertoire symphonique de Karajan. Les ingénieurs de la firme allemande ont cherché à redonner à l'auditeur une sensation d'espace, de profondeur du son qui, selon eux, n'existait pas sur les enregistrements originaux. Comme l'affirme Klaus Hiemann (directeur du recording center de Deutsche Grammophon) : "à l'époque où ont été réalisés les enregistrements de Karajan, cela n'était pas encore possible. Ou bien le son était trop sec ou il était trop diffus. Mais il existe précisément un son qui est tout à la fois chaud, rond, spatial et transparent". Afin d'atteindre cet idéal sonore, le (re)mixage numérique s'est révélé indispensable ; en particulier la possibilité d'utiliser des délais (lignes à retard) sur les postes correspondant aux microphones d'appoint. Ce recalage temporel, qui simule une redistribution dans l'espace, permet de corriger après coup et avec une grande souplesse certains inconvénients liés à l'utilisation d'appoints microphoniques non corrélés en phase.

S'il est clair qu'en termes de qualité sonore l'avance technologique porte ses fruits, on pourrait dire pour conclure que le consommateur mélomane, lui, envisagera probablement les choses d'une manière plus nuancée, en tout cas, en ce qui concerne la réédition de CD datant de moins d'une dizaine d'années ; le remixage de ces disques est évidemment motivé par des questions techniques (l'amélioration est réelle) mais aussi par des impératifs commerciaux. A chacun d'interroger ses oreilles... et sa raison.

Remerciements : Nathalie Rocca, Deutsche Grammophon Yamaha Music France.

# POINT DE VUE

## HAUT-PARLEURS SANS CONCESSION OU L'HISTOIRE D'UNE INSTALLATION (suite et fin)

Jean Leroy

**A**

*l'issue d'un récit commentant le choix, puis l'installation des haut-parleurs, enfin l'expertise acoustique dans un environnement traité pour en tirer le meilleur parti possible, ce dernier article décrit la phase finale d'optimisation consistant à égaliser acoustiquement l'ensemble.*

Plusieurs raisons ont milité en faveur d'une véritable égalisation (1) :

1) Tenter de supprimer les résonances du local qui sont à l'origine de toniques insupportables sur certains programmes.

2) Masquer les effets de directivité des haut-parleurs, lesquels se traduisent en champ semi-réverbéré, c'est-à-dire au-delà de quelques mètres, par une répartition très fluctuante de l'énergie sonore en fonction de la fréquence (fig. 1).

3) Tenter de retrouver les sensations de proximité que procure habituellement l'écoute au casque, tout en sauvegardant la perspective stéréophonique (étalement en profondeur).

On sait que l'égalisation n'a pas

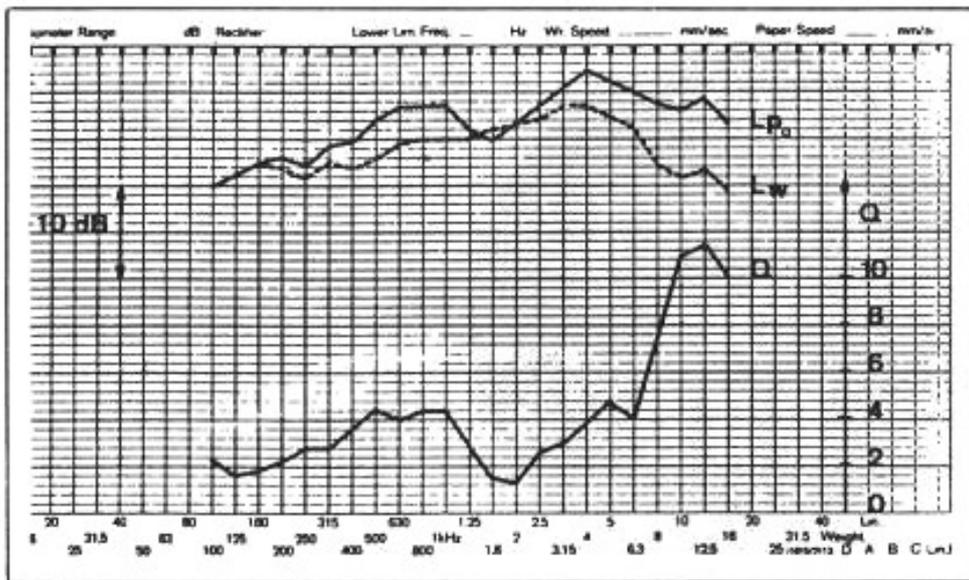


Fig. 1 : Caractéristiques de directivité selon les conditions de mesure d'une enceinte à deux voies.  $L_{p0}$  = réponse en pression dans l'axe en chambre sourde.  $L_w$  = réponse en puissance en chambre sourde ou en salle.  $Q$  = facteur de directivité. (selon P. Chapelle).

bonne réputation, ses détracteurs arguant que sa mise en œuvre conduit presque toujours à une dégradation de la qualité d'écoute :

- l'augmentation du souffle,
- l'apparition d'un "halo" affectant la perspective sonore (les sauts de phase en seraient responsables),
- l'instabilité et la variabilité des réglages selon la position d'écoute, étant les griefs le plus souvent mis en avant.

Faut-il pour autant renoncer ?

L'auteur, comme Saint Thomas, a choisi de n'écouter que ses oreilles, avec une démarche pragmatique que n'auraient pas désavouée les fondateurs du concept Hi-Fi comme G.A. Briggs et P.J. Baxandall, pour ne citer que ceux-là. Cela consiste à ne pas s'arrêter à mi-chemin d'un parcours effectivement difficile, s'agissant de partir de matériaux sonores pour lesquels on ne dispose pas du modèle original, pour aboutir à plus de vraisemblance dans un local domestique éloigné de l'auditorium dont rêve l'audiophile.

L'adoption de l'égalisation, que beaucoup considèrent comme un artifice nuisible, supposait qu'on ne fasse pas de concessions aux per-

formances de la chaîne dans son ensemble, ce qui concrètement signifiait :

- maintien du rapport signal/bruit, sinon perte limitée à quelques décibels,
- pas d'aggravation audible des distorsions de toute nature,
- possibilité de mise en œuvre pas trop acrobatique, donc avec des moyens simples et peu coûteux.

C'est ce processus qui est maintenant décrit.

## Quel égaliseur, quelle source de modulation, quel instrument de mesure ?

La problématique tourne en effet autour de plusieurs possibilités :

- s'agissant de la **technologie** faut-il se contenter du réglage de tonalité dont sont munis la plupart des préamplificateurs, ou d'égaliseurs à 9 ou 10 octaves, ou d'égaliseurs sélectifs (moins de 1/5 d'octave), ou encore d'égaliseurs paramétriques à fréquences d'accord et sélectivité variables,
- s'agissant de la **nature du si-**

gnal modulateur requis pour faire les réglages : faut-il agir avec des fréquences discrètes, avec des fréquences glissantes (signal wobulé), ou encore avec du bruit à spectre étroit,

- s'agissant de la **nature du récepteur de mesure** faut-il se contenter de l'oreille, d'un microphone utilisé en large bande, ou muni de filtres à sélectivité calibrée en fonction de celle du signal (mesure sélective), ou encore avoir recours à une visualisation sur écran oscilloscopique.

Autant de questions combien plus complexes que la pose sur étagères des différents maillons d'une chaîne, mais dont la solution peut seule amener au but fixé : **NE PAS FAIRE DE CONCESSIONS**. Cela suppose différents essais de réglage pour lever des doutes, ne pas s'habituer à une seule technique. Bref, jouer au maximum l'objectivité, sachant que l'oreille peut se révéler parfois trop conciliante avec la High Tech.

## Premier essai : des promesses

Avec signal bruité (bruit rose) et enregistrement continu, en disposant d'un égaliseur Craftsmen à 10 curseurs par voie et en suivant scrupuleusement le mode d'emploi du disque fourni (3), nous avons obtenu les résultats consignés en figure 2. On note une belle régularité qui s'est tout de suite traduite à l'oreille par l'impression d'un voile enlevé devant un paysage, avec une grande clarté dans les messages complexes, sans doute liée à l'atténuation des toniques du local.

Ces courbes d'égalisation viennent bien confirmer les résultats des expertises déjà effectuées, à savoir :

- creux à 63 et 125 Hz, puis à 1 kHz, pour ramener les bosses d'amplitude acoustique à des valeurs acceptables,
- relèvement à 250 Hz, puis à 16 kHz, pour compenser des défi-

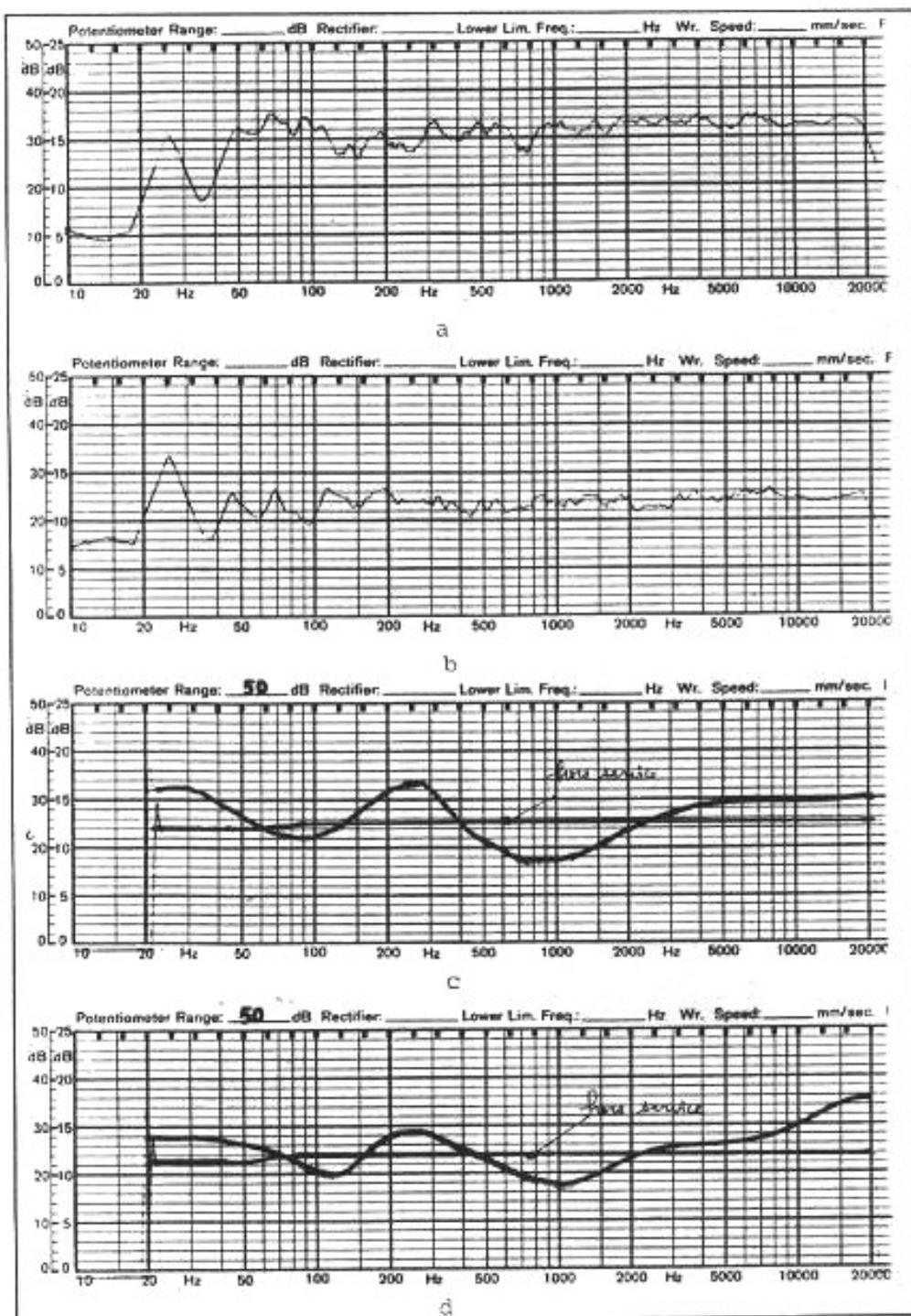


Fig. 2 : Caractéristiques d'égalisation active en bruit rose (micro au point A selon fig. 5). a) Voie gauche. b) Voie droite. c) Courbe de l'égaliseur voie Gauche. d) Courbe de l'égaliseur voie Droite.

ciences, non pas des haut-parleurs dont la réponse a été dûment vérifiée avant installation, mais du local amorti pour motif de réverbération excessive.

### Autres tentatives

Un essai mené avec égaliseur sélectif (4), constitué d'un ensemble de deux résonateurs à self-capacité et inséré entre amplifica-

teur et haut-parleurs graves (voir figure 3), a confirmé qu'on pouvait agir sur quelques toniques. Il faut alors s'aider de disques spéciaux - par exemple le disque analogique "Boom-test" ou le "Compact-test" réalisé par P. Verany en collaboration avec la revue *Diapason* - la mesure de niveau s'effectuant à l'oreille, ou mieux encore à l'aide d'un microphone.

Une telle pratique, combinée avec l'action du réglage de tonalité GRAVE (réglage au minimum minimum) a amené un résultat d'écoute quasi-optimal dans la zone la plus perturbée (50 à 160 Hz), mais a laissé un "vide sonore" autour de 250 Hz qu'on perçoit sur certains instruments et sur la voix humaine, par manque de corps. C'est alors que le recours à un véritable égaliseur couvrant toute la bande audible s'est finalement imposé, la mise en œuvre étant facilitée par l'existence d'un écran de visualisation couplé à un générateur de bruit rose (5).

Dans ces conditions opératoires, le réglage prend moins de quinze minutes, le temps de placer le microphone au voisinage de la position d'écoute habituelle, de positionner ensuite les curseurs de façon à lisser la réponse globale visible sous forme d'histogramme - voir figure 4. On retrouve alors, cette fois visualisée par diodes électroluminescentes en façade, l'allure générale des courbes relevées avec l'égaliseur Craftsmen.

On remarque de l'excès de niveau dans les canaux centrés à 63 Hz et à 125 Hz ne peut pas être complètement neutralisé à gauche - à 31,5, à 63 et à 125 Hz à droite - les curseurs correspondants étant en butée. Cet inconvénient est mineur, puisque la réponse globale en monophonie étale le résidu, comme cela est souhaité par Beranek (+3 dB à 60 Hz), afin de tenir compte des conditions habituelles de prises de son. On verra par ailleurs la nécessité de retoucher l'extrême-aigu pour les mêmes raisons.

L'équilibre Droite/Gauche peut être apprécié au vu des figures 4c et 4d. On retrouve après couplage des deux voies (fig. 4h) une réponse bien lissée, à 3 dB au-dessus de chacune des voies ; avec il est vrai une légère remontée au-dessous de 250 Hz et une légère bosse autour de 30 Hz qui rappelle qu'on s'approche de la résonance propre des haut-parleurs graves.

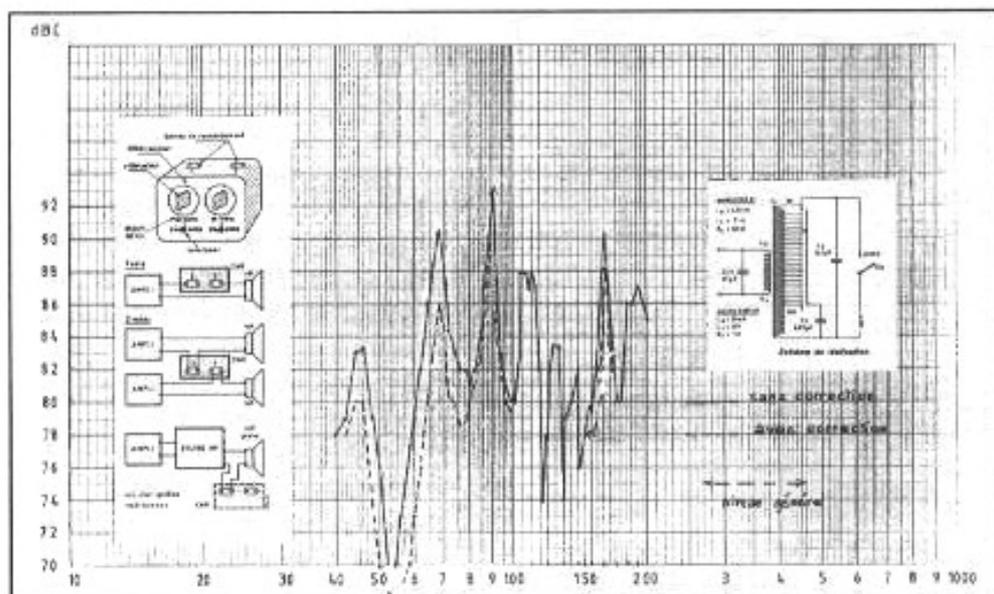


Fig. 3 : Réponse avec correcteurs passifs (accords à 45 Hz et 67 Hz).

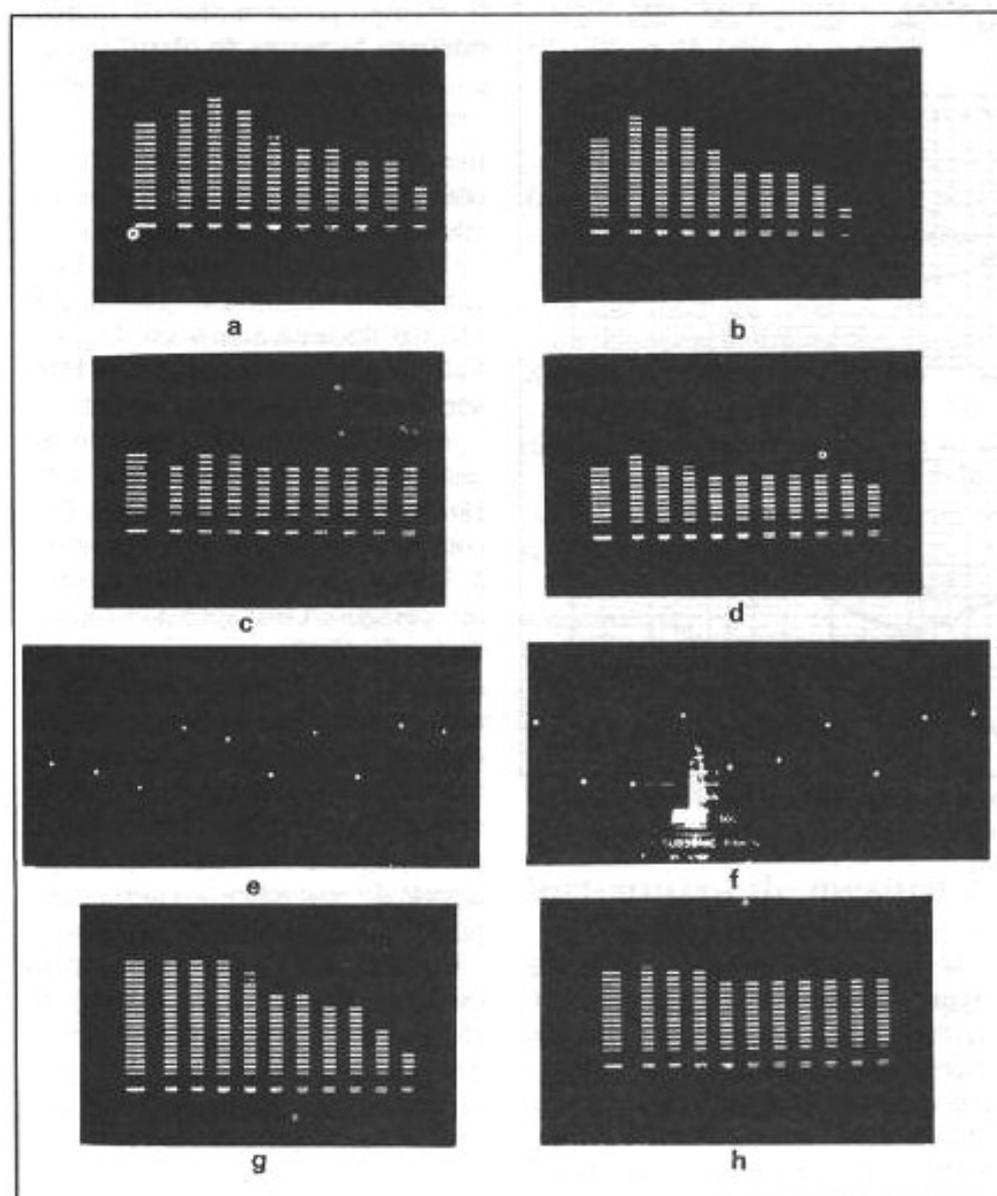


Fig. 4 : Réponses d'égalisation active (micro en A). a) Voie G non égalisée. b) Voie D non égalisée. c) Voie G égalisée. d) Voie D égalisée. e) Position des curseurs G. f) Position des curseurs D. g) D+G non égalisées. h) D+G égalisées.

Il restait à vérifier l'influence de la position d'écoute dans le local, une fois faite l'égalisation de chacune des voies pour un premier point A - voir figure 5.

Un examen attentif des clichés montre que la plupart des positions qui s'éloignent du point égalisé, en particulier les positions E, F, G et surtout J et K, sont affectées d'une notable remontée du niveau acoustique dans le registre GRAVE, sans que le niveau dans l'aigu soit trop affecté. Ce résultat est corroboré par l'écoute, laquelle confirme une exagération de certains bruits d'accompagnement - bruit de pédale sur pianos par exemple - et maintien d'une bonne définition des sons brefs (transitoires).

Un constat : l'écoute devient d'autant plus "naturelle" que le niveau reste modéré - 70 à 75 dBc en crête - l'excès dans le grave n'étant vraiment gênant qu'à niveau fort. C'est là qu'il faut évoquer l'effet Fletcher selon lequel l'oreille humaine a besoin d'une accentuation des graves à bas niveau, ce qu'illustre bien la figure 6 où a été portée la courbe d'isosensation pour un niveau sonore de 70 phons, ce pour la position E. La même remarque s'applique dans l'aigu, puisque l'accentuation effectuée avec l'égaliseur Craftsmen tient compte de l'effet Fletcher.

## Qui peut le plus peut le moins

Un meilleur lissage est évidemment possible en ayant recours à des égaliseurs professionnels à 24 canaux, voire plus, pour traiter la bande 20 à 20.000 Hz (réglage par tiers d'octave). Ce faisant, on éviterait de surcompenser des creux importants - celui de 250 Hz par exemple - par des renforcements des canaux adjacents. Réciproquement, des bosses accusées n'entraîneraient pas des réjections affectant également les canaux adjacents en raison même de la faible sélectivité des correcteurs

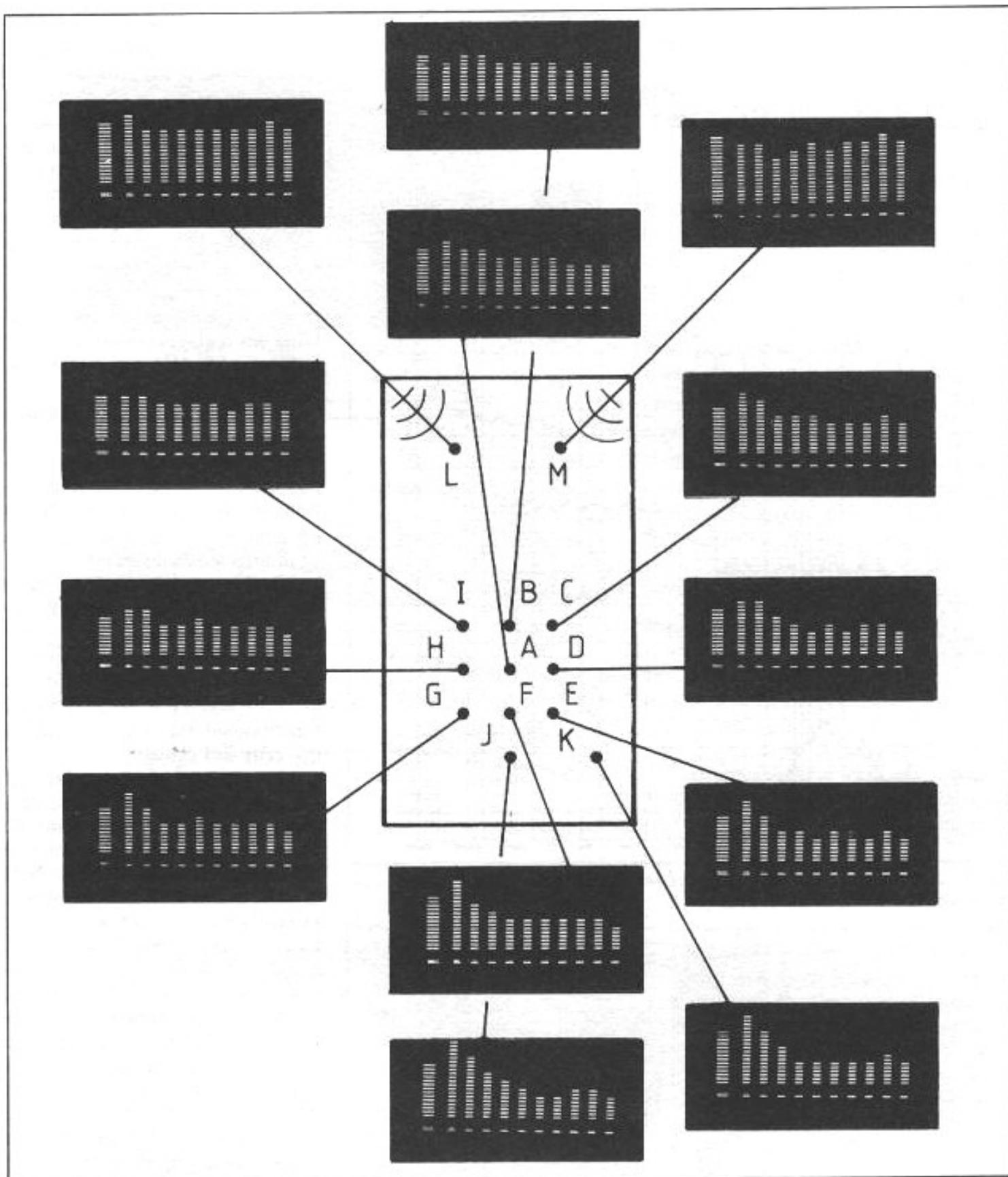


Fig. 5 : Influence de la position du micro après égalisation pour le point A.

utilisés. C'est bien ce que traduit la figure 7 qui montre, après égalisation, la réponse en fréquences discrètes : à noter la remontée entre 150 et 200 Hz qui compense le trou

à 130 Hz et à 250 Hz.

Certainement, l'utilisation d'égaliseurs paramétriques où les paramètres  $f_0$  et  $Q$  (surtension des circuits correcteurs) sont ajustables

peut amener une amélioration spectaculaire des réponses observées en salle, sans que pour autant l'oreille, ignorante du véritable équilibre spectral lors de la prise de son, soit

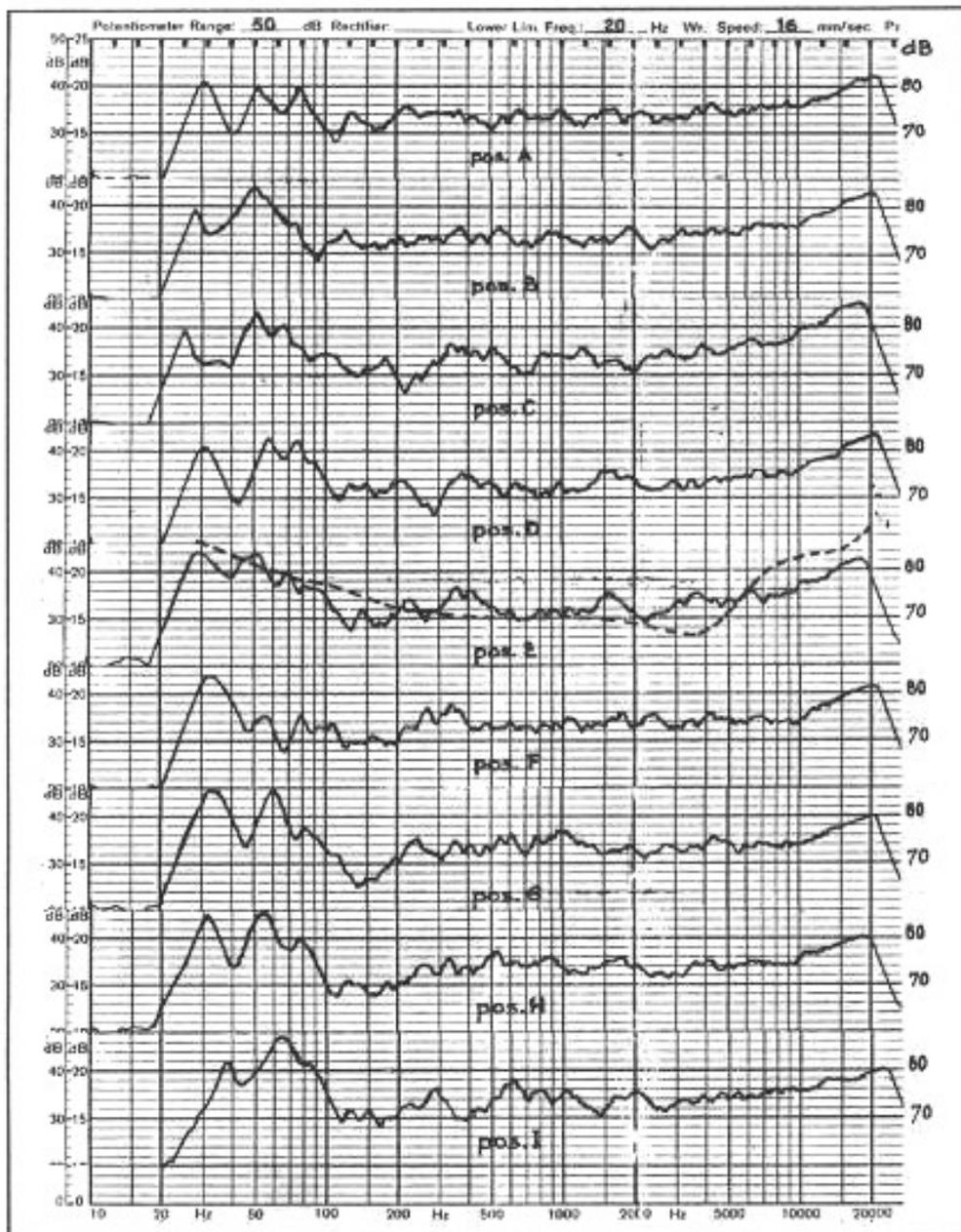


Fig. 6 : Influence de la position d'écoute (en tiretés : courbe de Fletcher pour niveau de 70 dB).

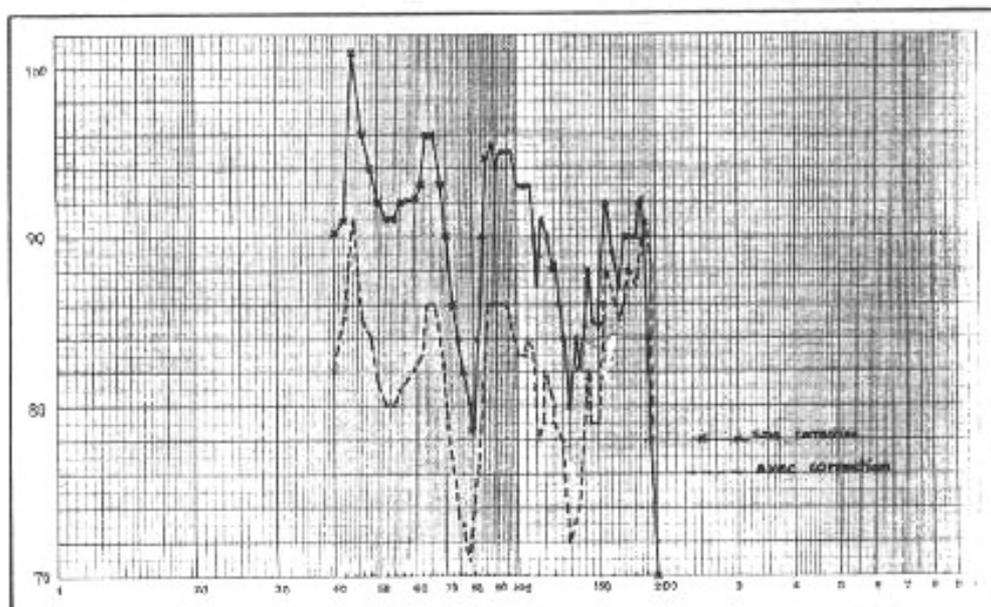


Fig. 7 : Résultats d'égalisation avec correcteurs actifs pour le point A;

à même d'apprécier le progrès, lequel ne peut s'avérer tangible qu'au plan de la visualisation. Avec réglage limité à 9 ou 10 canaux par voie, on a potentiellement une infinité de lissages possibles, puisque chaque retouche localisée est susceptible d'appeler une retouche des canaux adjacents. C'est là toute la difficulté de l'égalisation manuelle rendue d'autant plus "pointue" que les curseurs ont une course limitée : ça conduit à une très grande sensibilité des réglages comme 2 dB par millimètre de déplacement (voir figure 4i).

Heureusement, l'expérience montre vite que, subjectivement, le perfectionnisme ne paie pas beaucoup, sauf à disposer de la possibilité d'effectuer des comparaisons instantanées, ce qu'autorisent les égaliseurs munis de mémoires.

Dans le cas où trop de doutes subsistent sur l'optimalité de réglages, une solution peut consister à adopter un égaliseur automatique, façon de déléguer le choix du meilleur réglage à un processeur, fonctionnant sur d'autres critères que ceux de l'écoute.

Un palliatif existe, celui qui consiste à faire appel à une méthode utilisant une modulation de phase dont l'énergie spectrale est limitée, ce autour des fréquences de la grille normalisée. Cette méthode, imaginée par B. Bernfeld et rendue facile grâce à l'existence sur le marché d'un disque "Compact-test" (réalisation de P. Verany), permet un positionnement plus précis des curseurs, avec lecture des niveaux sur un sonomètre. On peut attendre une précision meilleure que 1 dB, donc supérieure à celle qu'offre la visualisation sur écran cathodique miniaturisé.

Avec un sonomètre distribué par Tandy, nous avons obtenu en premier essai (voir figure 8), une répartition qui a tout de suite bien représenté l'impression subjective de l'écoute : écoute très analytique (beaucoup de détails dans l'aigu),

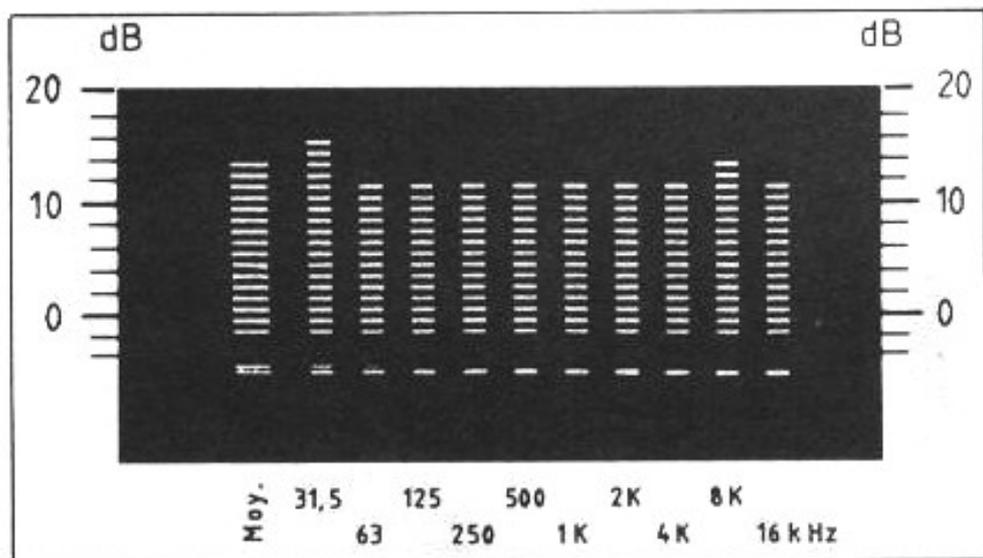


Fig. 4i : Détail de la visualisation sur écran oscilloscopique intégré à l'égaliseur.

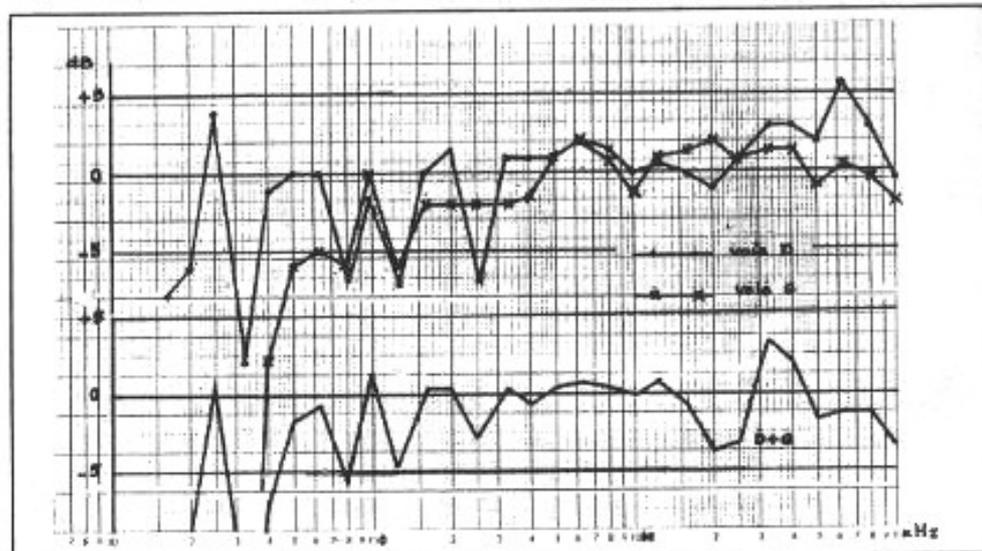


Fig. 8 : Réponses après égalisation à l'aide du "Compact-test" pour le point A (premier essai).

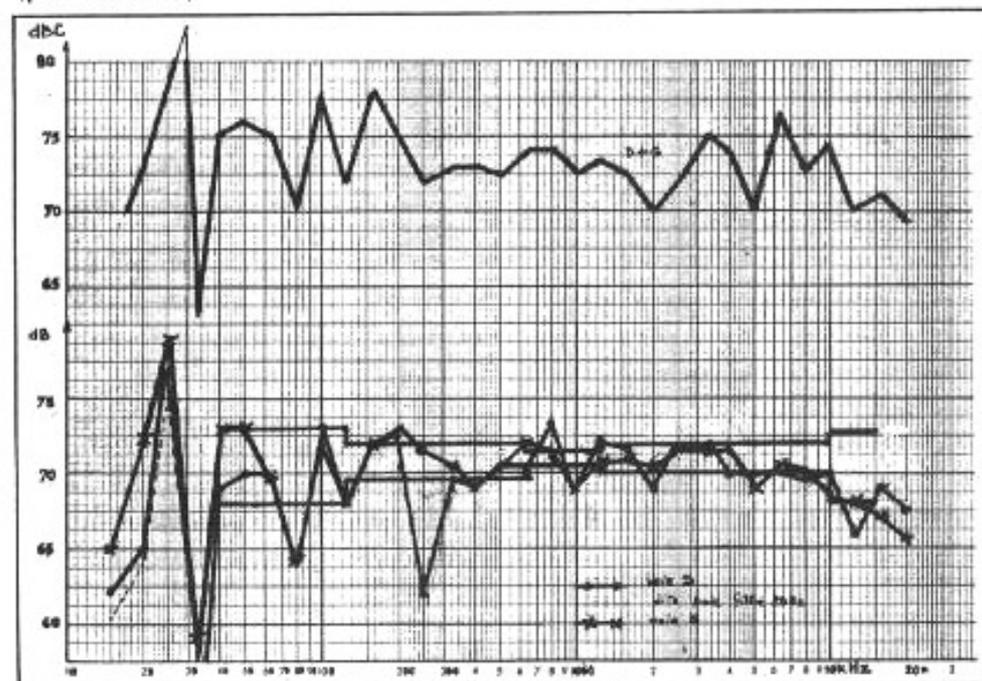


Fig. 9 : Réponses après égalisation à l'aide du "Compact-test" pour le point A (dernier essai).

mais un certain manque de chaleur, en particulier sur la voix. Ce resenti est probablement lié à l'allure ascendante de la courbe de réponse, avec bosse en monophonie autour de 3,5 kHz.

Ne désespérant pas d'obtenir encore mieux à l'oreille, en jouant plus finement avec les curseurs, et en abandonnant l'alignement strict des barres lumineuses sur l'écran, nous avons, par itérations successives, cherché à aligner le mieux possible les 18 points, ce sur chacune des voies. D'où la figure 9 qui montre des réponses Droite et Gauche s'inscrivant, à peu de choses près, dans la zone de sensibilité maximale de l'oreille, à l'intérieur du gabarit recommandé par les instances professionnelles du monde audio, à savoir :

- 40 à 125 Hz : +2 à -3 dB
- 125 à 630 Hz : +1 à -1 dB
- 630 à 1,25 kHz : +0,5 à -0,5 dB
- 1,25 à 10 kHz : +1 à -1 dB
- 10 à 15 kHz : +1/2 à -3 dB

Comme il faut savoir conclure, la décision a été prise de "geler" ces réglages et c'est sur le cliché oscilloscopique de la figure 10 que s'est terminée la phase de mise au point définitive de toute l'installation.

## Quel bilan ?

La longue mise au point d'une installation somme toute assez orthodoxe - tous les maillons sont de conception classique - a permis de (re)découvrir des précautions d'usage courant dans le monde professionnel de la sonorisation. Elle a surtout permis de confirmer que l'utilisation de transducteurs de bonne qualité, mais pas forcément rares ou coûteux, pouvaient conduire à une écoute de qualité très supérieure, dès l'instant qu'on s'astreignait à respecter quelques règles simples. Parmi ces précautions utiles à la cause de l'audiophile, nous citerons en premier lieu la nécessité d'un inventaire des caractéristiques acoustiques du local,

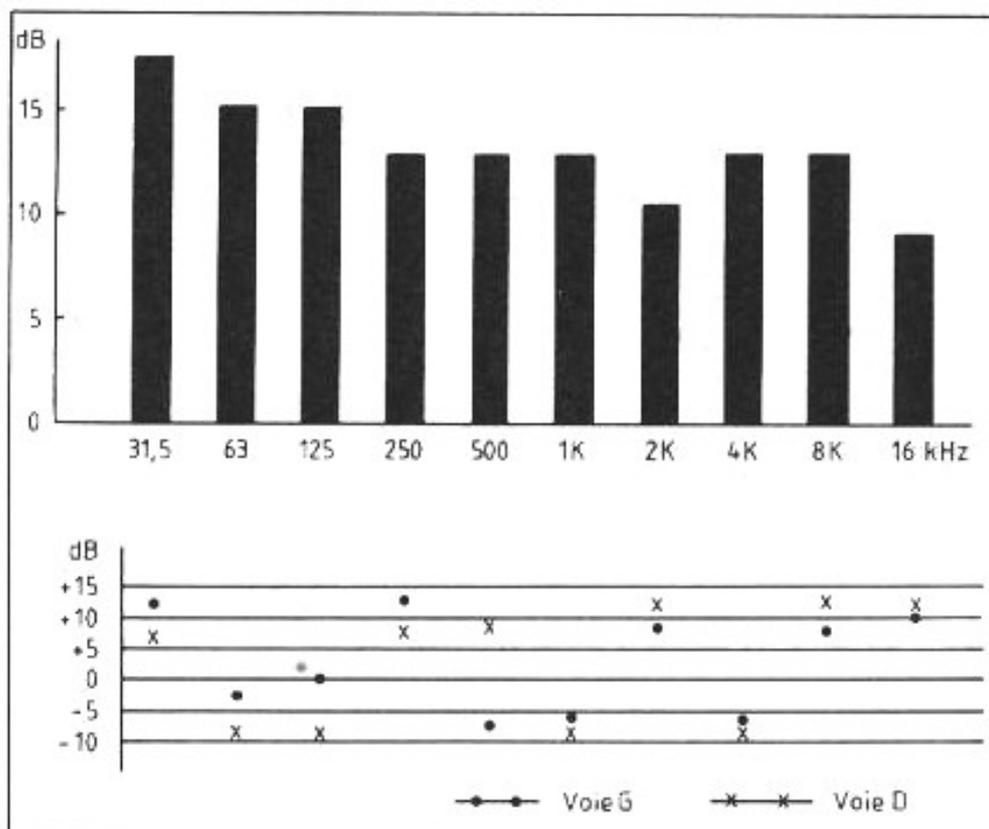


Fig. 10 : Réponse acoustique visualisée (D+G) sur égaliseur actif, après lissage au moyen du "Compact-test" selon figure 9; (On notera que la différence avec la figure 4h porte sur les bandes 2 kHz et 16 kHz.) En bas : Position correspondante des curseurs (à comparer avec 4e et 4f), on remarque une assez bonne symétrie entre voies G et D, sauf dans la bande 500 Hz. Un tel écart en plein milieu de la bande sensible peut expliquer la perte de vraisemblance en l'absence de toute égalisation, aucun réglage de tonalité ne pouvant redresser efficacement ce déséquilibre spectral.

si l'on souhaite respecter le travail des preneurs de son : faut-il accepter l'idée de tout ignorer de la réverbération et de l'isolation phonique de la salle d'écoute quand on investit dans des compacts qui garantissent un bruit de fond quasiment nul avec, en corollaire, des possibilités accrues de repérage directionnel jadis occultées par le rumble des disques noirs.

La mise au point finale n'a porté que sur l'équilibre spectral, c'est-à-dire en fait sur la réponse amplitude/fréquence de la partie amplificatrice. Au demeurant, travailler ce seul paramètre s'est révélé payant au-delà de nos espérances. C'est apparu comme une deuxième nécessité : obtenir qu'au point d'écoute habituelle, l'équilibre spectral soit bien contrôlé dans la

bande 40 à 15.000 Hz, avec une difficulté insoupçonnée au départ : LA VERITABLE QUALITE DE LA PRISE DE SON, en particulier toute la richesse de jeu des instrumentistes, N'EST REVELEE QU'AU TOUT DERNIER STADE DE L'EGALISATION DANS LES BANDES CENTRALES (250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 Hz), c'est-à-dire lorsque la réponse individuelle des voies Droite et Gauche s'inscrit dans un couloir de  $\pm 2$  dB (voir la figure 9).

De même, la localisation spatiale ne prend toute sa signification qu'après équilibrage des deux voies, toujours dans les bandes précitées, à mieux que 1 dB, toutes choses égales par ailleurs. C'est alors seulement qu'on découvre la stabilité des solistes et une augmentation apparente de leur dynamique

propre - l'écoute de certains passages de *Salomé* de Richard Strauss avec Giuseppe Sinopoli (chez DG) est révélatrice sur ce point.

A l'évidence, l'écoute dans un auditorium digne de ce nom permet de s'affranchir de toutes ces difficultés : un contrôle de la directivité des sources sonores reste quand même utile.

Les dernières observations, à l'issue du processus d'égalisation, sont :

1) Obligation de faire un tri sévère dans sa phonothèque. Certains enregistrements prennent en effet un coup de vieux en se révélant "durs", voire confus. D'autres font montre de richesses jusqu'alors insoupçonnées.

2) Revoir la protection des haut-parleurs contre les surcharges. Tel est le cas des tweeters notamment. C'est ainsi qu'il a fallu revoir le filtrage en amont des supertweeters en ajoutant une bobine supplémentaire en shunt de 0,3 mH directement aux bornes du haut-parleur - soit une coupure de 30 dB/octave au-dessous de 3 kHz, là où initialement n'existait qu'un simple condensateur de 1  $\mu$ F derrière une cellule de 12 dB/octave.

3) Risque important de surcharge dans l'extrême-aigu comme dans le grave, mais dans le cas de haut-parleurs graves montés en baffle infini, il est faible. Seule la résonance à 25 Hz est impossible à masquer ; elle ne se révèle gênante que sur certains compacts (la radio coupe à 40 Hz).

4) Inutilité d'améliorer seulement une partie de la bande audible : les basses ne sonnent juste que si l'aigu est lui-même juste, et vice-versa. C'est particulièrement net avec les instruments à cordes.

5) Le prolongement de la réponse acoustique jusqu'à 20 Hz transforme la plupart des enregistrements. C'était beaucoup moins évident avec les disques analogiques. Le cas de l'orgue est le plus "spectaculaire". En réalité, presque tous les instruments gagnent sur le

plan de la vraisemblance à être reproduit au moins jusqu'à 40 Hz sans atténuation. L'inconvénient est que certains bruits parasites peuvent être perçus comme exagérés : bruits d'estrades, pas des chanteurs, actions sur la pédale forte du piano, bruits pneumatiques de l'orgue, etc. C'est le propre de prises de son mal équilibrées. Ces bruits contribuent néanmoins à la vraisemblance de l'environnement acoustique qui a existé lors de la prise de son.

A cet égard, le succès n'est pas toujours au rendez-vous, avec le compact dont la fidélité intrinsèque dessert parfois la cause du mélomane, en exacerbant des défauts que masquait le procédé analogique (réverbération en salles vides de tout public par exemple).

6) Lorsque toutes les précautions ont été prises pour une bonne égalisation, on constate que l'écart entre l'écoute au casque et la perception via des haut-parleurs s'est considérablement réduit. On peut même estimer que le casque est un moyen plus artificiel, en raison de son inaptitude à reconstituer correctement l'ensemble d'une scène sonore familière.

(1) Voir *L'Audiophile* n<sup>os</sup> 19, 22, 23.

(2) Procédé consistant le plus généralement à découper la bande audible en plusieurs canaux à bande étroite (souvent une octave, 1/3 d'octave dans les cas les plus raffinés) et à ajuster le niveau acoustique dans chaque sous-bande de façon à répartir l'énergie de façon égale sur l'ensemble du spectre restitué.

(3) La méthode consiste à comparer le canal égalisé en bruit avec un signal de référence émis sur l'autre voie (le procédé tient compte de l'effet Fletcher).

(4) Modèle de fabrication Millerioux - référence CAR 81.

(5) Modèle ADC - référence SS 300SL.