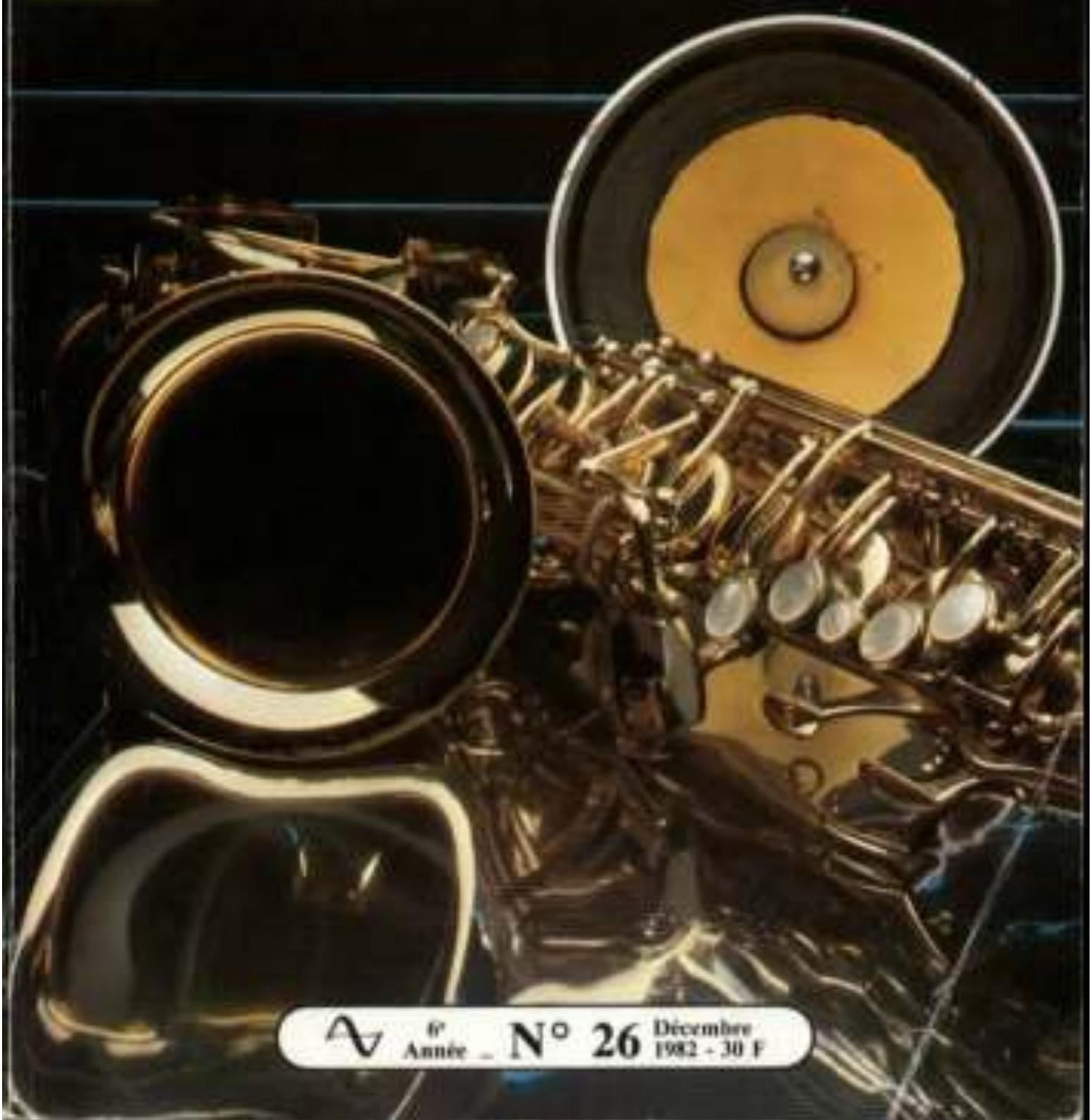


# L'AUDIOPHILE



6<sup>e</sup>  
Année

N° 26

Décembre  
1982 - 30 F

**Page non  
disponible**

# Digital, attention danger !

*Guy Marec*

*L'auteur tient tout d'abord à préciser qu'il est électronicien, et que ses activités professionnelles l'amènent à utiliser et surtout à concevoir des ensembles électroniques, et donc des circuits, utilisant des techniques digitales ou numériques.*

*Ces lignes ont, de ce fait, été rédigées avec en arrière plan une parfaite connaissance des problèmes liés à la transcription digitale de signaux analogiques et à la reconstitution de ces signaux après échantillonnage.*

*Ce n'est donc pas d'une querelle de chapelle qu'il est question ici, mais d'une prise de position objective, devant un danger très réel, par un technicien passionné de musique, et qui s'intéresse à la reproduction sonore depuis plus de vingt ans.*

Pour la première fois, en effet, depuis l'avènement de la « haute-fidélité » dans les années 50, il y a danger. Danger de voir une évolution technologique prématurée, donc présentée à tort comme un progrès, risquer de figer pour un temps indéterminé, mais vraisemblablement très long, la qualité maximum de la reproduction électro-acoustique.

L'utilisation partielle ou totale de technique digitales a pour conséquence dans l'état actuel de la technologie, une diminu-

tion de la qualité globale de la reproduction sonore. Il est inquiétant de le constater, très désagréable d'être obligé de l'écrire pour s'en défendre, mais le fait est là certain et vérifiable par chacun.

J'ai personnellement considéré comme la présentation d'un gadget amusant la première audition de disques à enregistrement digital et à lecture par faisceau laser lors du Festival du Son 1981. La qualité n'étant pas évidemment le critère primordial de choix du matériel présenté dans

ce salon, j'aurais dû me méfier, et pressentir ce danger plus tôt.

La prolifération, d'autre part, de disques à gravure conventionnelle mais à enregistrement digital me préoccupait bien un peu, mais je voyais là l'effet d'une mode passagère plus que d'un fait technologique.

Au niveau de l'utilisation il n'y avait pas de différence, mis à part bien entendu la perte d'informations. Les techniques d'enregistrement pouvant et devant s'améliorer, et le marché des machines d'enregistrement

étant relativement limité, le danger n'était pas grand. Le problème qui peut en effet apparaître lors d'un changement de normalisation sur du matériel de grande série ne se pose pas ici. Le codage et le décodage numérique concernent les fabricants, relativement peu nombreux, mais pas les utilisateurs de disques.

Je pensais aussi (naïvement, je l'avoue) que la presse technique spécialisée ne pouvait « laisser passer cela », et que tôt ou tard une campagne unanime et objective viendrait mettre de l'ordre dans tout cela et demanderait aux électroniciens concernés de revoir un peu leur calculs et leurs normes, afin de leur faire restituer une musique présentant quelque caractère de vérité. C'était faire fi de l'apathie qui tend à s'abattre sur le monde occidental et sur les consommateurs désabusés, prêts à avaler n'importe quelle couleuvre, pourvu que l'électronique ou l'informatique en fasse remuer la queue !

Un événement m'a brusquement contraint à émerger de cette léthargie collective : c'est la présentation publique en novembre 1982 à Grenoble d'un système de reproduction utilisant ce qu'il est maintenant convenu d'appeler « des disques compacts à lecture laser ». Je pense que cette présentation, (agrémentée de force placards technico-publicitaires et de mise à disposition de documents) doit faire partie d'une tournée à l'échelon national, chargée de faire entériner la dernière des merveilles par l'opinion publique.

Il m'a paru nécessaire de faire acte de salubrité publique en résumant ci-après mes impressions à l'intention des mélomanes traumatisés par ce cataclysme prétendu musical, mais muets devant l'auréole et l'autorité d'une certaine science.

## Les journées de novembre

La démonstration avait lieu dans une des petites salles d'un cinéma. Acoustique « un peu mate » peut-être, mais de bon goût, dans laquelle j'aurais eu plaisir à écouter mon propre système de reproduction. La disposition des enceintes m'a laissé perplexe : très surélevées, très écartées, et placées disymétriquement par rapport à l'axe de la salle. Connaissant les difficultés d'implantation d'un système dans une salle inconnue, j'ai cru bon de flairer là la haute technicité d'un démonstrateur rompu aux changements rapides de conditions d'écoute...

Les enceintes, pilotées par des amplificateurs invisibles de ma place, étaient des modèles classiques d'un constructeur dont la réputation est établie depuis longtemps. J'attendais donc une démonstration intéressante : le choc a été sévère et m'a contraint à prendre en cours d'écoute les quelques notes rassemblées ci-dessous. Il n'y a aucune exagération dans les commentaires, je ne me le permettrai pas.

- Absolument aucune image : un grand orchestre classique est réduit à une ligne entre deux enceintes.

- Le message musical est dénaturé par l'extinction rapide des sons.

- C'est de la musique morte que l'on nous diffuse, et vraisemblablement mal amplifiée.

- Aucune finesse du violon, aucun contact archet-cordes, pas de prolongement des notes, aucun « son filé ».

- La grosse caisse ou le violon occupent la moitié du volume de l'orchestre.

- Il semble n'y avoir aucune possibilité de recréer une image spatiale.

- Les attaques de violon ont quelque chose de faux et de dur : il manque une certaine densité spectrale.

- Les instruments solo occu-

pent des espaces démesurés et incohérents.

- Les signaux d'extinction des cymbales ont des spectres tronqués, ce qui donne l'impression qu'elles ne sont pas constituées des alliages habituels.

- Il est étrange d'entendre des caisses qui n'ont pas de peaux.

- La dynamique musicale réelle est faible. J'ai peur que les concepteurs de ce système n'aient confondu dynamique et niveau sonore.

- Tout just bon à faire de la sono à forte puissance.

- J'ai l'impression que la prise de son a été faite dans une chambre sourde : aucun des petits signaux d'ambiance habituels.

- Les sons sont squelettiques dans leur monstruosité (à interpréter en fonction du très fort niveau sonore de la démonstration).

- Une flûte et une contrebasse occupent pratiquement le même espace.

- Les voix, totalement fausses et anti-naturelles occupent, comme les instruments, des surfaces ahurissantes. Les respirations ne passent pas.

- Les voix perdent de leur caractère humain; elles évoquent des voix synthétisées.

- Dès que le niveau monte, la dureté de la reproduction est insupportable.

Il est bon toutefois, de noter deux faits positifs :

- l'absence de bruit de fond (l'information n'est quand même pas partie seule...).

- La possibilité de très forts niveaux sonores.

Par contre l'absence de diaphonie (une des caractéristiques des disques compacts en lecture laser) n'apporte rien, vraisemblablement parce que les signaux d'espace et d'ambiance qu'elle perturbe généralement sont désespérément absents.

Il est évident qu'un tel niveau de mauvaise qualité ne peut être le seul fait du système digital. Le niveau d'écoute, trop élevé,

entraînait un fonctionnement à la limite des enceintes acoustiques excitées par des amplificateurs fonctionnant (renseignements pris) en classe D. La disposition des enceintes s'est révélée aussi très défavorable. Mais les démonstrateurs (incompétence ou ignorance ?) avaient l'air de considérer ce fonctionnement comme parfaitement satisfaisant et concluant : le danger se doublait donc d'un scandale. Je répète que les notes rapportées ci-dessus ne sont pas exagérées.

### Le cas des disques à pressage conventionnel

Pour tenter de faire à nouveau le point, aussi objectivement que possible sur « le digital », et devant l'impossibilité d'essayer moi-même ce système, j'ai dû me rabattre sur les disques à pressage conventionnel mais enregistrement digital.

J'ai donc réuni un groupe d'amis, mélomanes et audiophiles, et nous avons fait quelques comparaisons en essayant d'éliminer tout parti pris. Le système d'écoute, sans être génial, est à peu près au point, et nous avons utilisé deux réglages différents du bras de lecture, ce qui nous a permis d'avoir deux dynamiques de reproduction extrêmement différentes. Je dois signaler toutefois la qualité des amplificateurs de puissance, qui ne présentent ni distorsion transitoire d'intermodulation, ni distorsion d'interface, ce qui est loin d'être courant, et peut avoir une répercussion importante au niveau subjectif (considérable réduction en particulier des impressions de dureté).

Les réactions à l'écoute des disques digitaux sont unanimes : manque d'informations se traduisant par un manque de musicalité et une absence d'espace sonore. Les instruments manquent de vérité et ne sonnent pas comme au concert. Les timbres perdent de leur vérité, la reproduction est sans chaleur, la musi-

que est vidée de son contenu émotif.

Je ne donnerai pas les références des disques, fort connus, qui ont été écoutés, à l'exception de l'un d'eux qui présente quand même un intérêt annexe extrêmement important. Il s'agit de l'enregistrement Téléfunken 6.42805 A 2 de la Symphonie « Prague » K. 504.

Pour juger de la quantité d'informations transmises, ce disque a été comparé à un enregistrement analogique D.G.G. de la même œuvre dirigée par Karl Boehm à la tête du Philharmonique de Berlin. Ce test, bien que simple et très incomplet, est tout de même parfaitement significatif. Cet enregistrement en « analogique » d'une qualité et d'un pressage très inférieurs, apporte en fait beaucoup plus d'informations et de plaisir musical que la version Téléfunken pourtant d'une facture tout à fait exceptionnelle. L'intérêt du disque Téléfunken est ailleurs : il réside dans l'utilisation d'un nouveau procédé de gravure de très haute qualité : le Direct Metal Mastering (D.M.M.). Ce procédé, appliqué aux enregistrements analogiques habituels devrait donner de très bons résultats, et creuser encore

le fossé qui sépare les deux techniques. Espérons que la firme Téléfunken regraverait, comme il en est question, son catalogue avec ce procédé.

Pour revenir à nos comparaisons, le changement de dynamique dû au bras était beaucoup plus sensible avec les disques « analogiques » qu'avec les « digitaux ». Ceci est très significatif d'une perte de « micro-informations » par la digitalisation.

La « dureté » de reproduction, très sensible à l'écoute des disques compacts à lecture laser, m'a semblé absente de tous les disques à pressage conventionnel en enregistrement digital que j'ai pu entendre. Ceci peut avoir une explication, j'en reparlerai. La perte d'informations est toujours sensible et suffit à remettre en question leur principe d'enregistrement (sous sa forme actuelle tout au moins).

### Parlons technique

Je ne rappellerai pas les principes de l'enregistrement digital, d'autres l'ont déjà fait. Il me paraît par contre beaucoup plus intéressant de tenter de faire une comparaison critique des deux

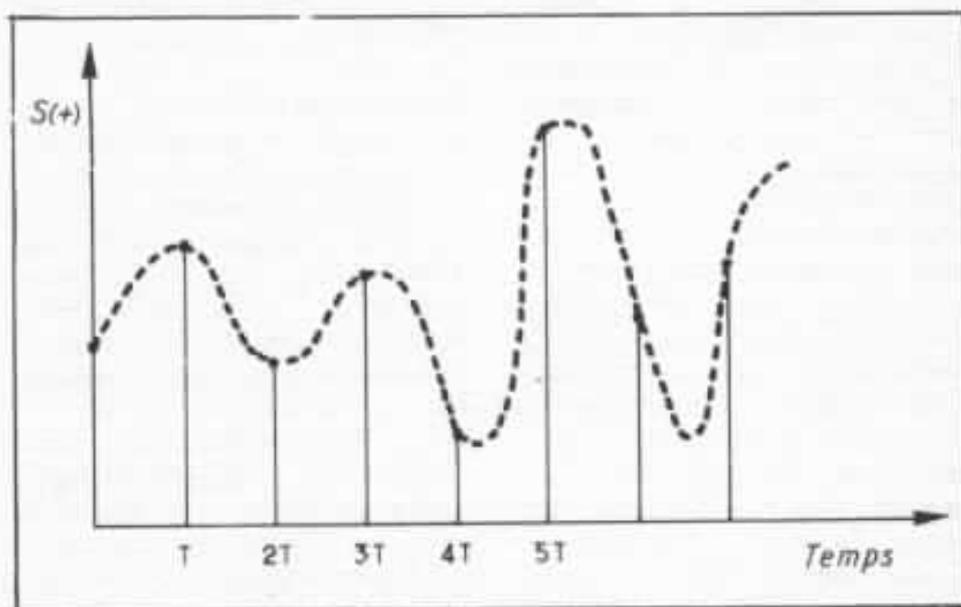


Fig. 1 : Échantillonnage d'un signal. Si  $f$  est la fréquence d'échantillonnage, alors  $T = 1/f$  est la période d'échantillonnage.

systèmes en partant des données techniques importantes et de leur contrepartie subjective réelle.

### 1 - La dynamique

Les tenants du digital affichent une dynamique supérieure à 90 dB. Les disques analogiques conventionnels atteignent 40 dB, quelquefois plus quand ils sont bien réalisés. Or, subjectivement la dynamique de ces derniers est très supérieure ! Ce paradoxe apparent tient peut-être à une question de définition. La dynamique réelle d'un enregistrement analogique est en fait considérablement augmentée par les possibilités de corrélation du système perceptif oreille-cerveau, capable d'extraire un signal noyé très loin dans le bruit et de le traiter avec le reste du message. Ce phénomène connu n'a, à ma connaissance, jamais été pondéré. Il doit augmenter la dynamique de quelques dizaines de décibels. La définition habituelle prenant comme signal intelligible minimum le niveau de bruit de fond, donne en fait un chiffre extrêmement pessimiste.

La dynamique du système digital est pratiquement définie comme le rapport entre le signal maximum enregistrable (les 16 bits au niveau logique « 1 ») et le niveau minimum de pondération; c'est-à-dire le bit le moins significatif à « 1 ». Or, ce niveau de pondération est loin de constituer un signal intelligible. La dynamique réelle devient de ce fait beaucoup plus faible que le chiffre annoncé.

Il est vraisemblable par ailleurs, mais je ne développerai pas cette question ici, que la dynamique réelle, subjectivement perçue, n'est pas constante en fonction de la fréquence. Ceci est dû à l'adoption d'une fréquence d'échantillonnage trop basse.

### 2 - Le bruit de fond

Bien que très lié à la dynamique, (les chiffres de pondération sont souvent les mêmes), il est

intéressant d'en dire un mot.

L'intérêt apparent et immédiat qui va être le « cheval de bataille » du digital c'est d'avoir considérablement reculé le niveau du bruit de fond. Mais ce recul du bruit va de pair, lui aussi, avec le recul des informations que ce bruit perturbe habituellement (informations de timbre, d'ambiance, d'espace etc...). Où est donc l'avantage réel ?

Dans le cas d'une restitution analogique, les audiophiles savent très bien que lorsqu'une chaîne de reproduction est bien réglée, le bruit de fond, qui est un signal non corrélé, se situe

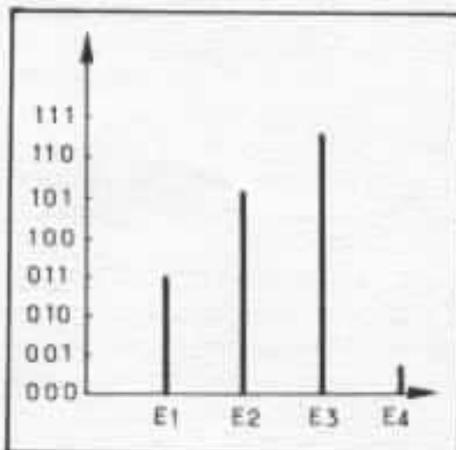


Fig. 2 : Pondération dans un système binaire à 3 bits. L'échantillon  $E_1$  vaut 011 ;  $E_2$  vaut 101 ;  $E_3$  vaut 111 par excès ; 110 par défaut ;  $E_4$  vaut 001 par excès ; 000 par défaut.

dans un plan différent de celui de la musique. Il est généralement « en avant », et ne perturbe que peu le message musical.

Chose étrange, beaucoup d'audiophiles perçoivent aussi « en avant » le message d'une restitution digitale. Y aurait-il aussi perte de corrélation et non pas uniquement perte d'information ? Ce serait une explication possible au manque d'image spatiale et de réalité de la reproduction.

### 3 - La distorsion

J'aborde ici l'écueil sur lequel va se briser le « compact-disc » à lecture laser (tout au moins dans

ses spécifications actuelles).

Cette distorsion est très vraisemblablement à l'origine des duretés ressenties.

La distorsion des systèmes analogiques est connue. Elle augmente quand le niveau de signal augmente, et est en général assez indépendante de la fréquence. Cette distorsion est avant tout fonction de la conception des circuits électroniques et magnétiques et est de ce fait théoriquement infiniment perfectible.

Dans le cas du digital, la distorsion est inhérente au système d'échantillonnage et de pondération. On la minimise en augmentant la fréquence et le nombre des bits de pondération (ou quantification suivant la terminologie employée).

D'une façon générale, et à l'opposé du système analogique, la distorsion augmente quand l'amplitude du signal diminue. Elle augmente aussi quand la fréquence augmente.

Sans entrer dans les détails mathématiques, il est bon de savoir que cette distorsion se produit à la restitution du signal analogique à partir de son équivalent numérique. Pour une distorsion donnée du signal restitué, la fréquence d'échantillonnage doit être proportionnelle à la fréquence du signal, et inversement proportionnelle à la racine carrée de cette distorsion.

Ce problème vient du fait qu'il faut « interpoler » entre les prises d'échantillon pour reconstituer le signal original. La seule interpolation théoriquement valable est celle de Shannon, irréalisable sur du matériel grand public.

La fréquence d'échantillonnage de 44,1 kHz est beaucoup trop faible pour permettre une reconstitution acceptable du signal dans tout le spectre. Il est vraisemblable, par contre, que les machines de studio, destinées à la production de disques conventionnels, ont une technique

d'interpolation de qualité supérieure à celle des lecteurs de « compact-disc ». Ceci serait une explication de la différence de dureté ressentie.

Il est très possible aussi que leurs caractéristiques de quantification et d'échantillonnage soient plus élaborées. Je n'ai aucune information sur ce sujet.

Je citerai, pour mémoire, un dernier problème qui peut apparaître avec l'enregistrement digital : c'est le risque de battements entre la fréquence d'échantillonnage et le spectre audio échantillonné. Il peut y avoir création de signaux parasites analogues à de l'intermodulation, c'est-à-dire non corrélés au signal musical. Ces signaux, non harmoniques donc, peuvent considérablement perturber les timbres.

### Pourquoi y a-t-il scandale ?

Le scandale est dans l'esprit de cette présentation d'une restitution entièrement digitale. Il y a scandale parce que c'est une tentative manifeste de faire croire à un public peu informé que l'utilisation de techniques d'avant-garde est un garant de qualité qui devient ipso facto la nouvelle référence, mais qualité que ce public manquant de repères est souvent incapable de juger.

Il faut une fréquentation assidue des concerts pour développer cet esprit et cette oreille critiques indispensables. Le goût du public risque donc de se modeler sur ces références de très bas niveau.

C'est le triomphe du mauvais goût, de l'ignorance et de l'incompétence dans un domaine, la musique, qui est certainement celui de la plus haute expression de l'art et du génie humain.

Il y a scandale parce que la motivation réelle de cette approche purement technologique est avant tout d'ordre commercial : c'est la consommation en marche prête à asservir la culture et le bon goût.

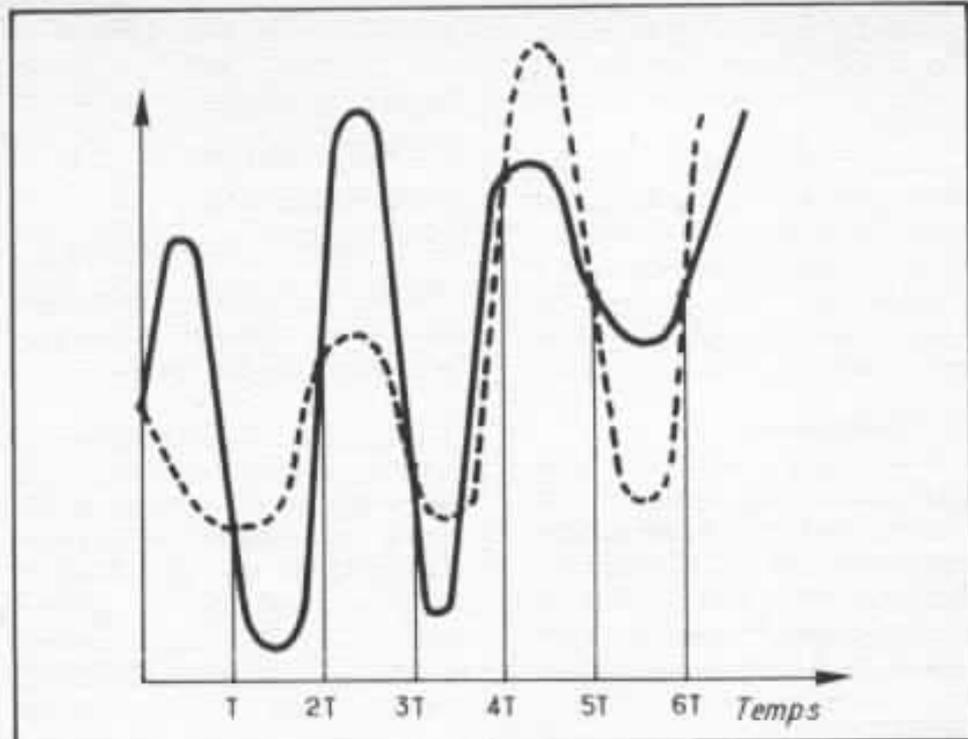


Fig. 3 : Reconstitution d'un signal à partir des échantillons. Sa figure présente un cas limite où la fréquence d'échantillonnage est trop faible devant la fréquence du signal. Plusieurs signaux différents peuvent correspondre au même échantillonnage.

Il y a scandale parce que la restitution musicale domestique a été et est toujours un fantastique promoteur de ce grand art qu'est la musique : combien connaîtraient Mozart et Beethoven sans le disque ? Et que va devenir cette forme de transmission si l'émotion n'y a plus sa place ?

### Où est le danger ?

Le danger est, qu'étant donné l'association commerciale qui s'est créée autour de ce « compact-disc » en lecture laser, ses spécifications risquent très rapidement de faire figure de norme internationale. Une fois lancé, il sera impossible, ou du moins très difficile, de l'arrêter.

Le danger vient, non pas du principe du digital, mais d'un risque de normalisation « de fait » d'un système dont les caractéristiques techniques ont été insuffisamment élaborées : nombre de bits de quantification trop faible, fréquence d'échantillonnage trop basse. Les caractéristiques techniques ont évidemment été définies en fonction de

possibilités moyennes actuelles : ce n'est pas une raison pour les accepter. Mieux vaut attendre quelques années de plus, et disposer d'un système numérique capable de réellement améliorer la restitution de la musique et constituer de ce fait un authentique progrès.

Il faut bien comprendre qu'un système numérique est essentiellement figé dans son principe et ses normes, et non améliorables dès qu'il est diffusé. Autant un système analogique est perfectible (il n'y a qu'à entendre, pour s'en convaincre, la quantité d'informations que l'on peut extraire de vieux disques, avec un bon système de lecture actuel), autant il sera impossible, à l'avenir de tirer plus d'informations d'un disque codé numérique, quelle que soit l'amélioration des circuits de lecture. Tout au plus pourra-t-on améliorer l'interpolation, et encore, à quel prix !

Si le système actuel se généralisait, il est vraisemblable que cela entraînerait une stagnation de la

qualité des chaînes de reproduction qui n'auraient plus aucune raison, sinon publicitaire, d'être améliorées.

Ce que l'on essaie de nous présenter comme « la révolution de l'audio », risque de n'être en fait qu'une triste régression.

Quant au nouvel univers sonore que l'on nous promet, il nous paraît singulièrement borné.

### En conclusion

Il ressort de ces quelques considérations, et surtout de l'écoute, que le système expérimenté actuellement, sur une base de quantification de 16 bits, et une fréquence d'échantillonnage de 44,1 kHz n'est pas capable de donner une qualité équivalente à celle de la transcription analogique habituelle.

Il convient, d'autre part, d'être extrêmement circonspect à la lecture des performances annoncées pour le « compact-disc » à lecture laser. Ces performances, très séduisantes sur le papier, doivent être « interprétées » avant d'être comparées à celles des enregistrements analogiques.

Il faut considérer le « compact-disc » à lecture laser comme une expérience intéressante, mais expérience seulement, et non pas comme un système fini, prêt à être commercialisé.

Les pressages conventionnels à enregistrement digital constituent un danger moindre, mais mieux vaut ne pas les accepter à leur niveau de qualité actuel. Il faut tout de même reconnaître qu'ils donnent une qualité de reproduction très supérieure à celle des disques compacts à lecture laser, et qu'un effort technique de la part des fabricants pourrait les rendre tout à fait acceptables.

Admettre le digital dans son état actuel, c'est entériner une régression manifeste.

Audiophiles et mélomanes ne peuvent l'accepter.

## Petit lexique à l'intention des lecteurs non électroniciens :

### - Représentation analogique d'un signal (acoustique dans notre cas).

C'est une représentation qui fait correspondre à l'amplitude de ce signal, l'amplitude d'une autre grandeur physique. L'amplitude de ce « signal image » varie de la même façon, donc « analogiquement » en fonction du temps. En pratique, on utilise trois représentations analogiques des signaux acoustiques :

1 - par une tension (ou un courant) électrique ;

2 - par une gravure mécanique (cas des disques usuels) ;

3 - par une intensité d'aimantation (cas des magnétophones et magnétocassettes).

### - Représentation digitale ou numérique d'un signal :

Voir fig. 1 et 2. C'est une méthode qui consiste à représenter ce signal par une série de valeurs numériques de ce signal prises à des instants déterminés. La valeur du signal à chacun de ces instants constitue « un échantillon » du signal. Les valeurs numériques sont définies en fonction d'une base (ou échelle) de numération, pondération ou quantification (ces trois mots ont le même sens dans ce cas précis). Les instants auxquels sont effectuées les prises d'échantillons sont définis par « la fréquence d'échantillonnage ». Les signaux dont il est question ici utilisent une base de numération binaire à 16 bits ce qui donne une échelle de pondération à 65 536 niveaux.

### - Spectre d'un signal

C'est une représentation de ce signal qui met en évidence les différents signaux élémentaires (ou composantes) de fréquences différentes qui le constituent.

### - Dynamique d'un signal :

C'est le rapport, généralement chiffré en décibels entre le niveau maximum qui peut atteindre ce signal et le niveau minimum perceptible. Le niveau minimum est en général le niveau de bruit de fond.

### - Corrélation :

Ce mot a une signification mathématique extrêmement précise, son emploi est souvent un peu abusif en langage courant. On peut toutefois dire qu'il y a corrélation entre deux signaux, ou bien deux signaux sont dits corrélés, quand il existe une certaine relation entre eux, c'est-à-dire quand leurs variations en fonction du temps ne sont pas indépendantes.

Deux signaux acoustiques peuvent être en corrélation par leurs fréquences, leurs rythmes, leur origine spatiale.

Le bruit de fond d'une chaîne de reproduction est un signal qui n'a typiquement aucune relation de corrélation avec le message musical.

### - Interpolation : (voir fig. 3)

L'interpolation est la technique mathématique qui permet partant d'un signal échantillonné de reconstituer le signal analogique initial, donc de reconstituer le signal original entre les prises d'échantillons. Sa mise en œuvre en pratique fait l'objet d'approximations plus ou moins importantes.

# Technologie des chambres de compression

Jean Hiraga

*L'histoire des chambres de compression, des pavillons, bien plus anciennes que celle de la haute fidélité, commence avec l'avènement du phonographé, les premiers balbutiements de la radio. Depuis, les chambres de compression et, plus récemment, les pavillons ont subi de nombreux perfectionnements, que l'application soit la haute fidélité ou la sonorisation.*

*Autrefois comme aujourd'hui, c'est surtout le gros avantage d'un rendement élevé qui permit au haut-parleur à pavillon de subsister, puis de se perfectionner au fil des années. C'est pourquoi, malgré les plus récentes améliorations apportées au haut-parleur de Rice-Kellogg, que ce soit les membranes planes, en nid d'abeille, métalliques ou même en céramique ultra fine, malgré la relancée de certains autres principes transducteurs, le haut-parleur à pavillon subsiste.*

Les qualités de certaines chambres de compression ou pavillons sont telles que, sauf révolution dans ce domaine, ce principe risque d'être le seul capable de supporter les attaques transitoires et la dynamique des enregistrements numériques de demain. Le lecteur trouvera ici quelques détails concernant la technologie des chambres de compression.

## **Le haut-parleur à pavillon**

### **Principales caractéristiques**

Le haut-parleur à pavillon est composé d'une chambre de compression et d'un pavillon. Le

pavillon, composé d'une embouchure (throat en anglais) possède des sections dont l'aire s'agrandit au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'embouchure (mouth en anglais), selon une formule d'expansion donnée.

Ces pavillons peuvent avoir une forme ronde, carrée, rectangulaire, être de type droit, coudé ou replié. Pour les formes carrées ou rectangulaires, la formule d'expansion peut, par ailleurs, être différente dans le sens horizontal par rapport au sens vertical, ou encore être la combinaison de plusieurs formules.

Les exemples de base sont les formules d'expansion conique, exponentielle, hyperbolique, comme indiqué sur la figure 1.

Selon ces diverses méthodes, on obtient des courbes de réponse, en fonction de la fréquence, semblables à celles de la figure 2, qui concernent des pavillons de longueur déterminée (une longueur infinie apportant en théorie une caractéristique assez différente). Ces pavillons jouent un rôle primordial dans les caractéristiques de directivité, de distorsion, de spectre de distorsion et de qualité subjective. Les matériaux dans

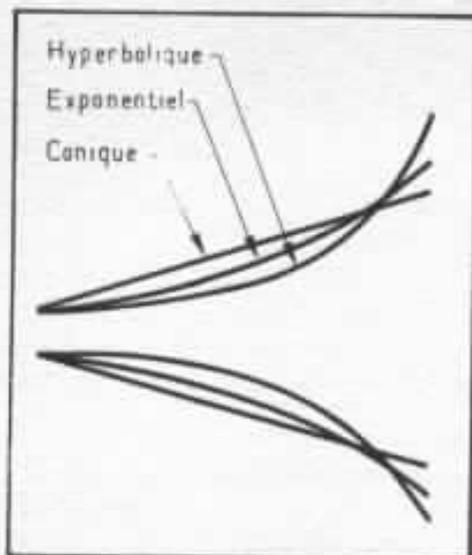


Fig. 1 : Trois principales formes d'expansion des pavillons.

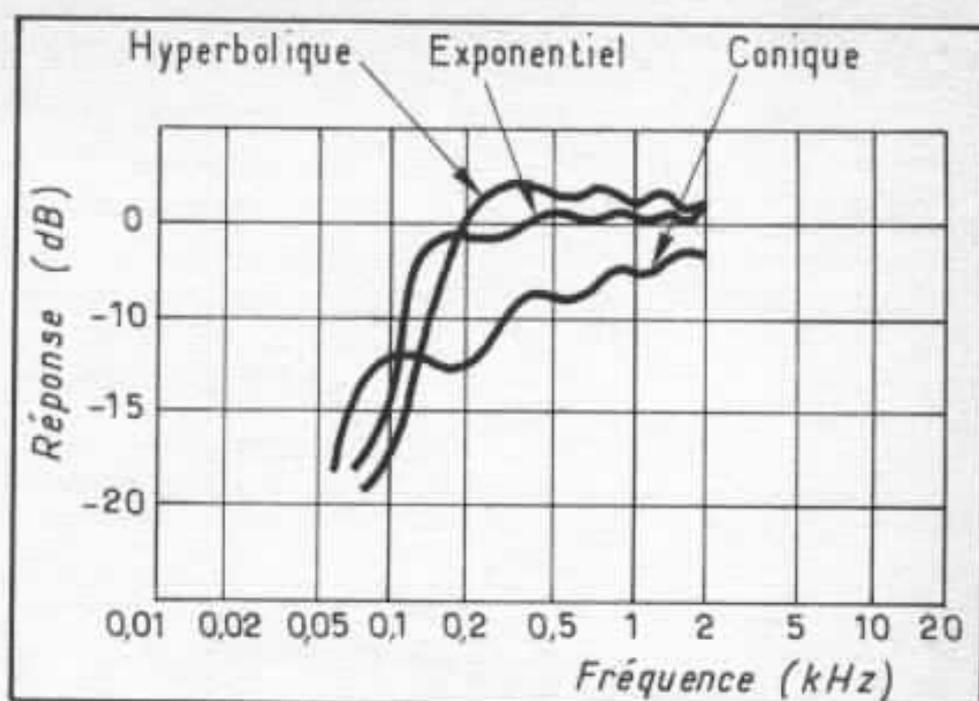


Fig. 2 : Effet de la formule d'expansion du pavillon sur la courbe niveau/fréquence.

lesquels sont conçus ces pavillons jouent aussi un rôle important, surtout lorsqu'il s'agit d'une application en haute-fidélité. Pour ces différentes possibilités, des centaines de pages pourraient y être consacrées.

### Chambres de compression Technologies relatives au rendement, à la linéarité

La chambre de compression est composée d'un circuit magnétique, d'une membrane, d'une bobine mobile collée à cette dernière, d'une pièce de phase, d'un capot masquant la partie non utilisée de la membrane. Trois exemples sont représentés sur la figure 3.

### Masse de la membrane

Suivant la masse de celle-ci, on obtiendra des variations de rendement suivant la fréquence. La figure 4 montre un exemple obtenu à l'aide de membranes dont la masse est comprise entre 0,5 g et 1,5 g. Noter que, dans le bas-médium, il faut ajouter l'effet combiné de la fréquence de résonance indiqué sur la figure 9.

### Facteurs de force BI

Le produit BI, c'est-à-dire de l'induction par celui de la longueur utile de la bobine mobile,

concerne directement la force motrice, un BI élevé correspondant à une force motrice élevée.

Un BI élevé, une induction élevée améliorent le rendement aux fréquences élevées ainsi que la linéarité, comme indiqué sur la figure 5.

Conjugué à la caractéristique de masse de la membrane, le BI joue aussi un rôle important dans la réponse transitoire, impulsions, trains d'ondes. C'est donc un point capital pour tous les moteurs de haute qualité pour applications hifi.

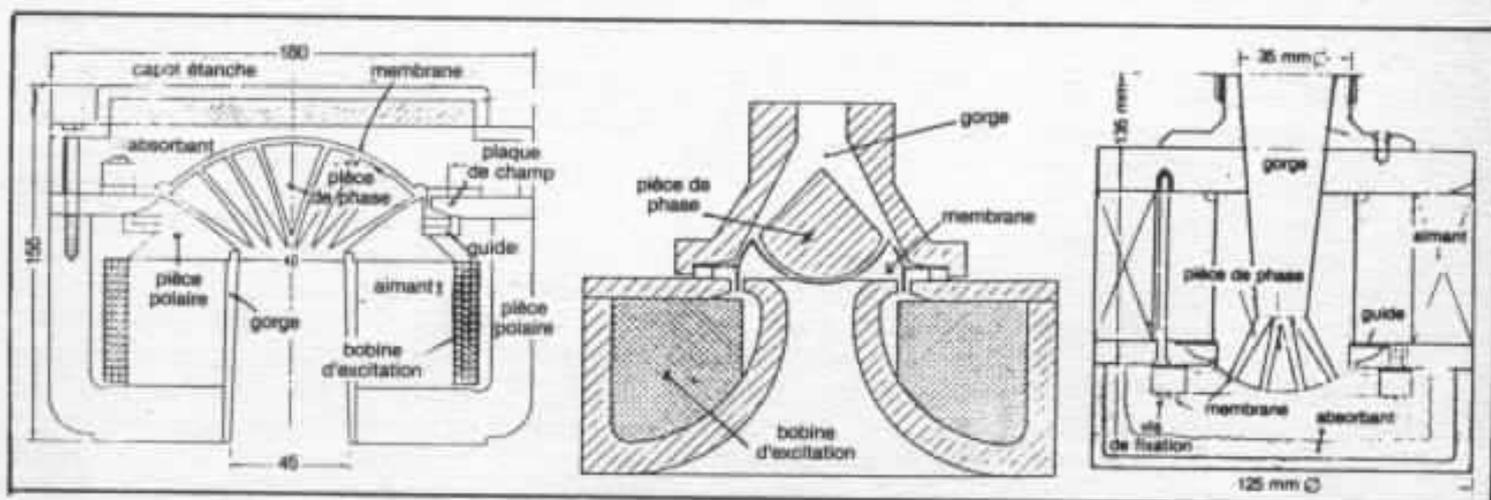


Fig. 3 : Trois exemples de chambres de compression.

### Espace pièce de phase/membrane

La pièce de phase, sa forme, sa structure joue un rôle primordial dans la largeur de bande à reproduire, dans l'efficacité. Il est de ce fait impossible de réaliser un moteur à large bande passante et à haut rendement sans l'aide de cette chambre de compression. La viscosité de l'air pris entre la membrane et la pièce de phase, son élasticité dynamique ont pour effet de réduire notablement la réactance de l'équipage mobile aux fréquences élevées, permettant ainsi d'améliorer le rendement aux fréquences élevées. La variation de l'espace membrane/pièce de phase modifie le volume soumis à la compression, ce qui a pour effet de modifier l'élasticité, la réactance mécanique de la chambre de compression. Noter que cet espace n'est pas obligatoirement constant. Il peut être soit plus réduit près du centre de la membrane (cas du moteur Western Electric 555 W) soit plus important au centre que sur la périphérie (cas de certaines membranes très fines). D'autre part, la membrane ne pouvant, dans la réalité, être considérée comme se déplaçant en parfait piston d'une part, l'influence de la géométrie des fentes (pièce de phase) d'autre part, pourront procurer une variation de rendement, aux fréquences élevées, non proportionnelle à l'espacement membrane/pièce de phase. Le cas se complique encore s'il s'agit de membranes fines, d'un espacement non régulier. Pour prendre un cas parmi bien d'autres, les effets de ce réglage se répercutent donc sur le rendement, comme on le voit sur la figure 6. L'espacement va d'autre part agir sur la puissance admissible aux fréquences basses ainsi que sur la fréquence de résonance. Dans la pratique, l'espace est variable mais est souvent inférieur à 0,2 mm. Sur cer-

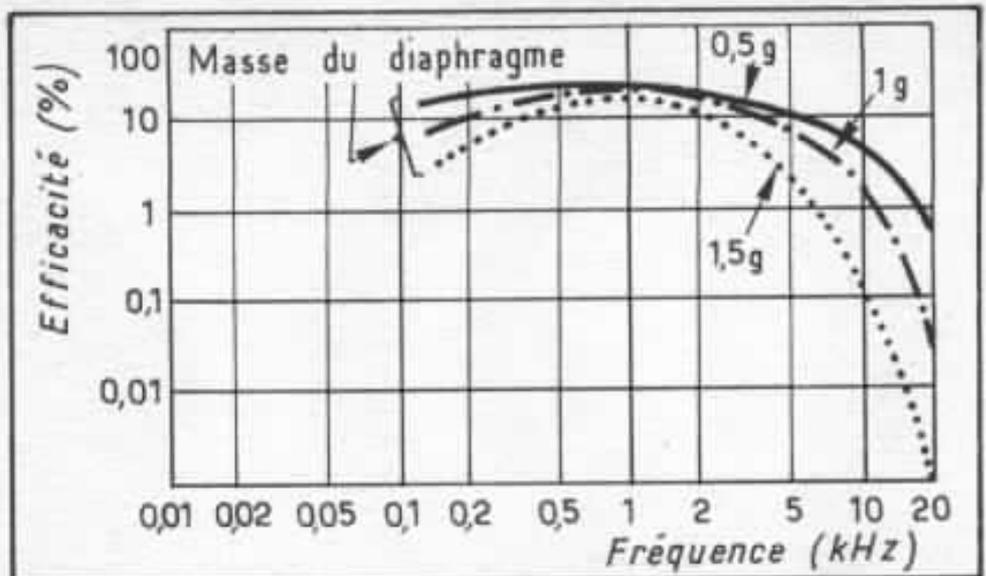


Fig. 4 : Effet de la masse du diaphragme sur le rendement.

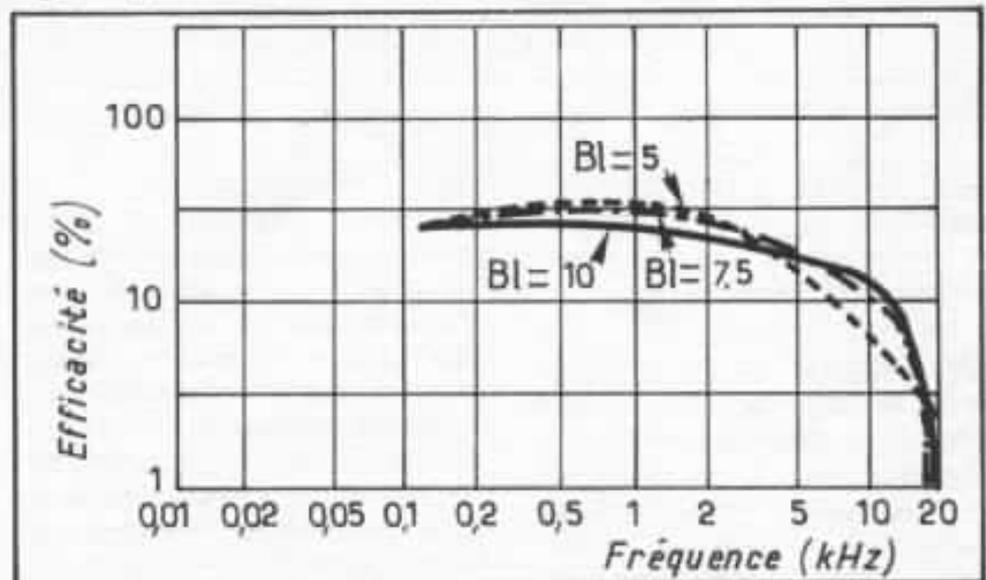


Fig. 5 : Effet du produit BI du circuit magnétique sur la réponse niveau/fréquence.

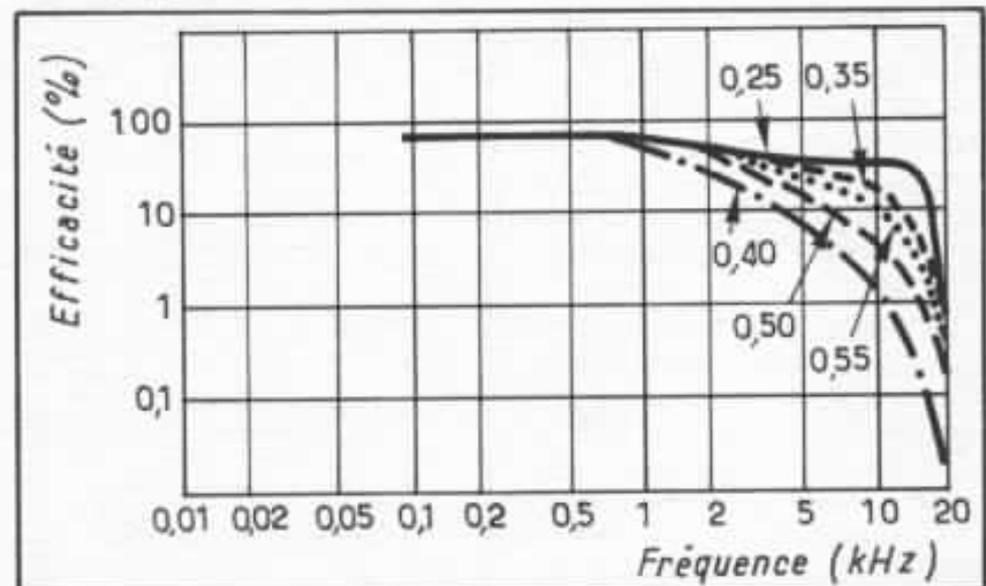
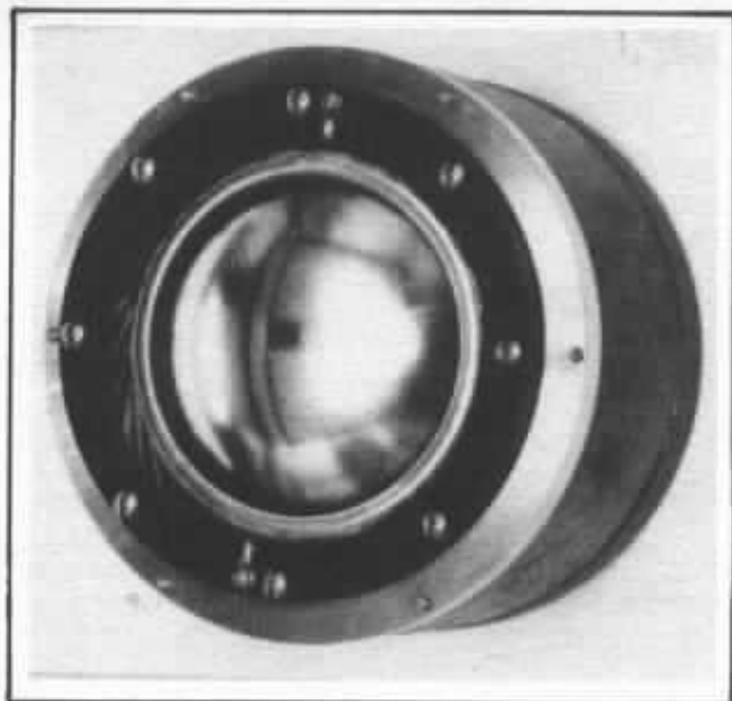


Fig. 6 : Influence de l'espace membrane/pièce de phase sur la courbe niveau/fréquence. Remarquer que les variations de niveau acoustique ne sont pas tout à fait proportionnelles à celle de l'espace membrane/pièce de phase.



Chambre de compression.



Pièce de phase.

tains tweeters, il peut être inférieur à  $10 \mu\text{m}$ .

#### Plages inter-fentes

La pièce de phase, pour prendre un modèle courant et non du genre « Tangerine » (Altec) ou à trous en « pomme d'arrosoir » (Tannoy) est munie de fentes concentriques. On entend ici par plages inter-fentes les parties plates et concentriques situées entre les fentes. Ces espaces peuvent s'ajuster entre 0 et  $\omega$ . Pour les fréquences correspondant exactement à  $\omega = \lambda/2$  il se produira une baisse de rendement. Pour obtenir une large bande passante, il faut donc choisir une faible valeur de  $\omega$ , ce qui oblige à utiliser un nombre plus important de plages et de fentes concentriques.

La valeur de  $\omega$ , le nombre de fentes sont donc à déterminer d'avance, en fonction de la bande à reproduire. Les limitations de celles-ci choisies, une valeur élevée de  $\omega$  permet d'obtenir théoriquement une meilleure linéarité. La figure 7 donne un exemple d'intervalles (plages) dont les valeurs ( $2\omega$ , en mm) sont comprises entre 3,7 et 8,7.

#### Facteur de compression

Dans les chambres de compression de qualité, la charge acoustique est augmentée par une compression produite par une surface totale de fentes (pièce de phase), plus petite que celle de la membrane. Ce rapport est appelé facteur de compression (T). Une valeur élevée de T aura pour effet d'élargir la bande passante, le rendement aux fréquences élevées. Mais il n'y a que cet avantage. La friction de l'air au niveau des fentes,

la pression plus élevée aura pour inconvénient d'accompagner le gain en bande passante d'une augmentation plus ou moins sensible de la distorsion par harmoniques pairs. Pour les chambres de compression courantes, la valeur de T se situe entre 5 et 10.

Quant aux fentes radiales, utilisées par Lansing sur le modèle 275 puis, plus récemment par Altec sur les versions « Tangerine », elles permettent, par effets de décalages continus de

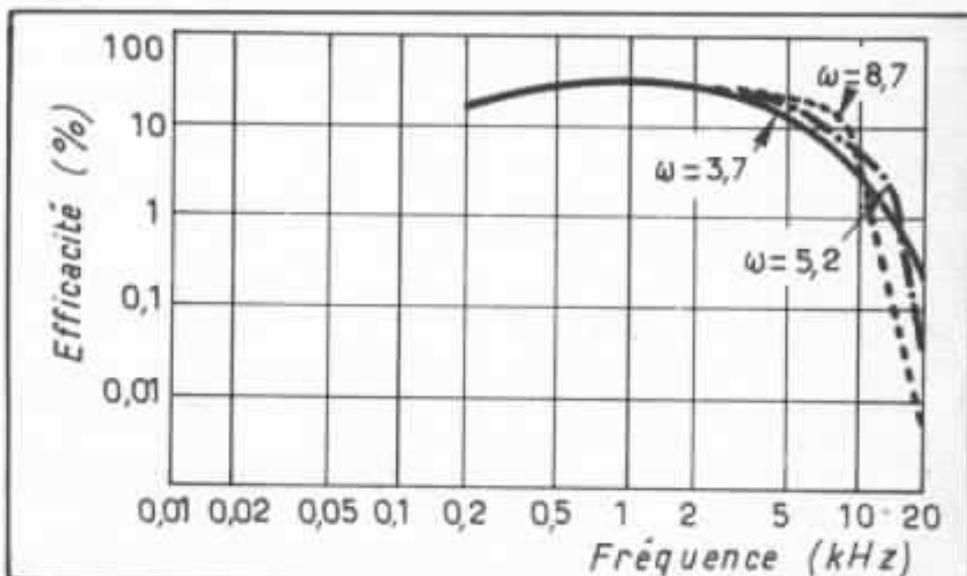


Fig. 7 : Effet de l'intervalle entre les fentes de la pièce de phase ( $2\omega$ , en mm) sur l'efficacité (en %), en fonction de la fréquence.

$\omega$ , d'élargir encore la réponse aux fréquences élevées. La solution Tannoy est également intéressante, vu qu'il est possible d'agir à la fois sur le diamètre, la disposition géométrique et la quantité de ces trous. Noter encore que la disposition des fentes agit aussi sur le comportement dynamique de la membrane (effet de fractionnement), ce qui apporte une réaction simultanée sur l'allure de la courbe de réponse niveau/fréquence, en particulier sur les membranes fines et souples. Sur la figure 8 sont représentés des exemples où  $T$  passe de 6 à 12. Dépassé un taux de compression trop élevé, on constate une perte d'efficacité dans l'aigu, due aux frictions importantes (transformation en énergie calorifique).

Seuls les principaux paramètres ont été détaillés, mais il en existe d'autres, comme ceux relatifs à la masse de la bobine mobile, à la surface de gorge, aux rapports surface de la membrane/ surface de gorge. Il faut penser par ailleurs que tous ces paramètres sont souvent inter-dépendants et qu'il n'est pas toujours possible d'améliorer simultanément plusieurs paramètres, certains étant contradictoires. Il ne faut pas non plus oublier le rôle du pavillon et ses formes très variables, ce qui procure des dizaines de milliers de combinaisons possibles. Parfois, toutes ces nombreuses données traitées sur ordinateur peuvent aboutir à la réalisation d'un moteur bien optimisé, parfaitement linéaire et à la bande passante très étendue, mais qui peut cependant n'apporter que de pauvres résultats en haute fidélité. La plus large bande passante et la plus grande linéarité pouvant fort bien cacher, en contrepartie, des défauts très graves autant qu'imprévisibles. Les ordinateurs permettent de dévoiler, grâce au calcul seul, plu-

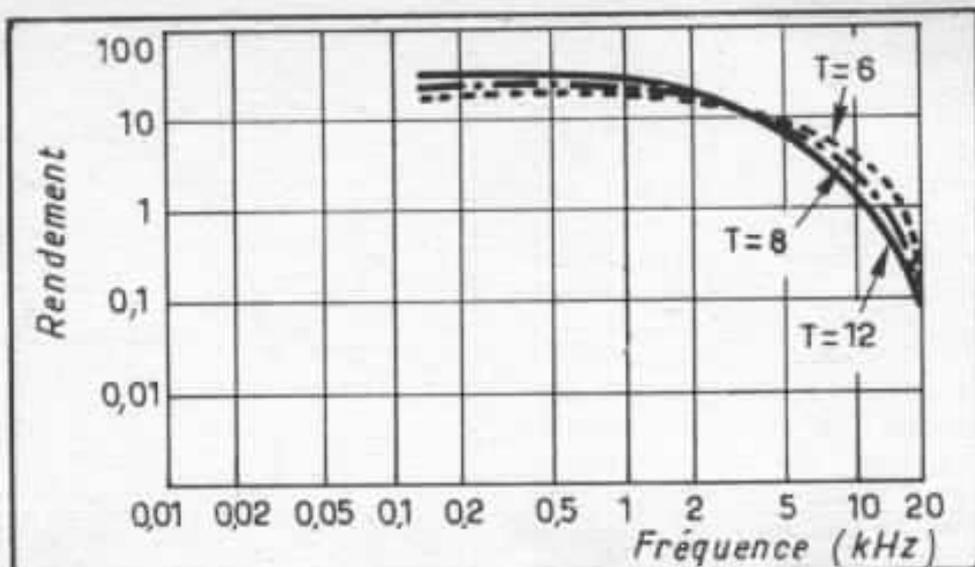


Fig. 8 : Influence du facteur de compression  $T$  (rapport surface active de la membrane/surface des fentes de la pièce de phase). Cette valeur de  $T$  se situe entre 5 et 10 sur les chambres de compression courante.

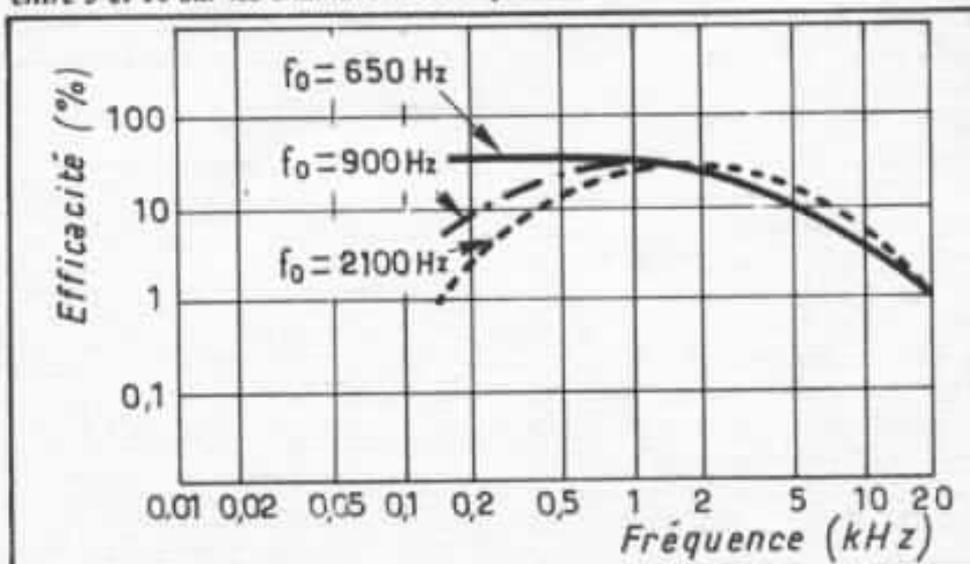


Fig. 9 : Influence de la fréquence de résonance sur la réponse niveau/fréquence.

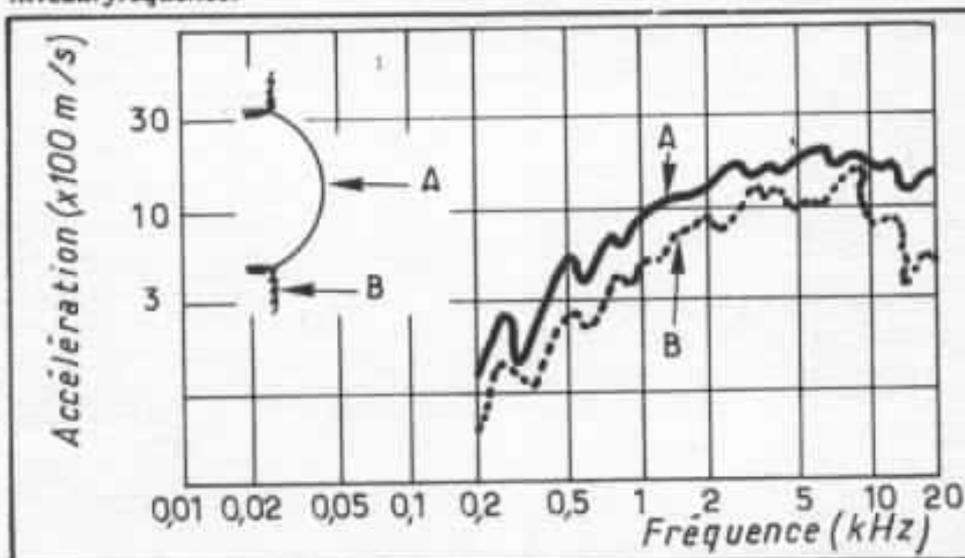


Fig. 10 : Accélération ( $\times 100$  m/s) notée en deux points de la membrane (centre, milieu de la suspension) en fonction de la fréquence. Les résultats diffèrent notablement d'un moteur à un autre.

sièurs paramètres avec une bonne précision. Cependant, quelques petits détails comme le comportement dynamique de la suspension (fig. 10) (un point très important sur les chambres de compression), le type de support de bobine, le genre de colle utilisé, le matériau dans lequel est réalisée la pièce de phase, la forme, la hauteur de la couronne supportant la bobine mobile sont autant de points capables d'apporter des défauts imprévus par le calcul. Les plus courants sont les résonances de cavité, les irrégularités du travail dynamique de la suspension. On peut prendre l'exemple d'un moteur dont la courbe de rendement est représentée sur la figure 11, en trait plein, alors qu'en pointillé figure la courbe calculée. Au point  $R_s$ , on note une anti-résonance de la suspension tandis qu'au point  $R_m$ , il se produira une résonance provenant d'un déplacement plus élevé au centre de la membrane. Au premier coup d'œil cet élargissement de la bande passante, de l'efficacité aux fréquences élevées pourrait supposer être un avantage. Sur le plan subjectif, on peut malheureusement obtenir un son coloré ou métallique, même après linéarisation de la courbe de rendement. La résonance  $R_m$ , située entre 6 kHz et 60 kHz selon les moteurs, dépend du diamètre, de l'épaisseur, de la technique de fabrication de la membrane. Les matériaux les plus utilisés, mis à part le phénol et le tissu bakélinisé (destinés autrefois à la sonorisation) sont l'aluminium, le duralumin, le titane, le titane-béryllium, le béryllium et certaines matières plastiques. Pour la majorité des moteurs de type haute fidélité, la valeur de  $R_m$  se situe entre 8 et 30 kHz. On comprend mieux à présent que diverses combinaisons de résonances, d'anti-résonances dues au  $R_m$ , à la pièce de phase, à la suspension, aux cavités, puissent malgré tout reconstituer une réponse

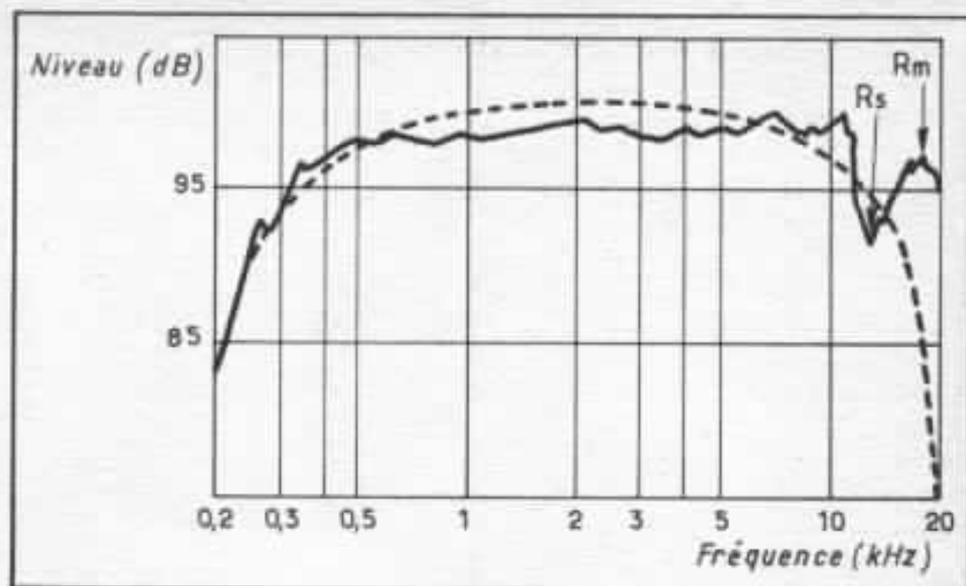


Fig. 11 : Courbe de rendement et effets de résonance et d'anti-résonance suspension/membrane. (Voir aussi la fig. 10). En pointillé, la courbe calculée.

Matériau	Densité $\rho$ ( $\times 10^3$ kg/m <sup>3</sup> )	Coefficient de Young ( $\times 10^{10}$ N/m <sup>2</sup> )	$\sqrt{E/\rho}$ ( $\times 10^3$ m/s)
Béryllium courant	1,83	22,5	11,1
Béryllium traité	1,80	20,6	10,7
Aluminium	2,70	7,0	5,1
Titane	4,40	11,90	5,2
Aluminium Bore-Titane	4,10	18,90	6,8
Polyéthylène	1,30	0,52	2,0

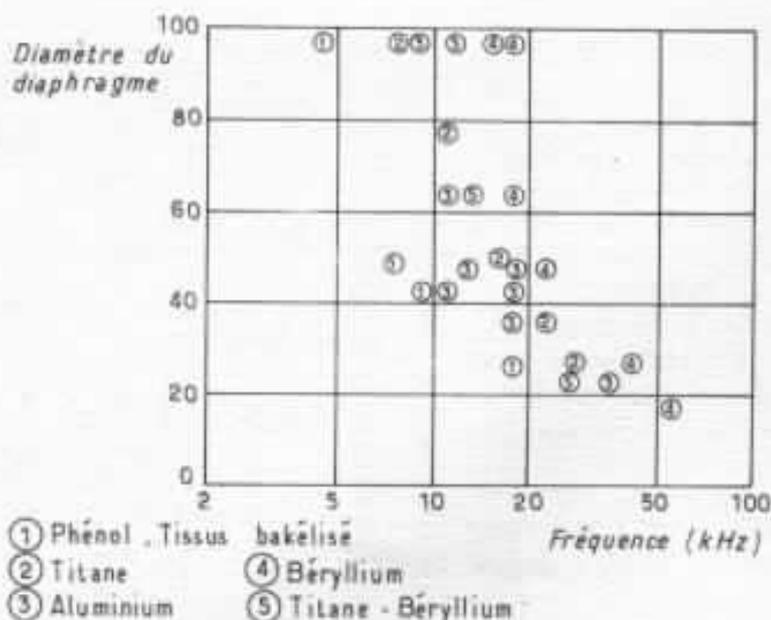


Fig. 12 : Caractéristique de quelques matériaux utilisés pour réaliser les membranes de chambres de compression (selon Kinoshita, Pioneer).

niveau/fréquence plate tout en étant pauvres ou passables sur le plan de la qualité subjective.

La figure 12 indique quelques exemples de valeur de  $R_m$ , ainsi que, sous forme de tableau, les caractéristiques des différents matériaux constituant les membranes.

### Qualité subjective

Contrairement aux haut-parleurs courants, il est difficile de juger, d'après quelques courbes et mesures, de la qualité subjective des chambres de compression. Le pavillon et ses caractéristiques faussent en grande partie le résultat et il est nécessaire de procéder à de nombreuses comparaisons et méthodes de réciprocité pour savoir si tel défaut provient du moteur ou du pavillon. Ensuite, suivant le type de pavillon utilisé, chaque charge utilisée pourra encore modifier le comportement dynamique du moteur (fractionnement de la membrane par exemple), ce qui peut fausser le diagnostic. La figure 13 montre en A un moteur sans défaut apparent, très linéaire mais subjectivement très relevé dans l'aigu. En B, un moteur dont la caractéristique niveau/fréquence est descendante alors que subjectivement ce moteur paraît assez équilibré. En C, un moteur dont la mesure révèle une bande passante, dans l'aigu, moins étendue qu'en A, alors qu'à l'écoute le modèle C semble monter dans l'aigu beaucoup plus, autant qu'un bon tweeter. Sur un même moteur, le remplacement du fil composant la bobine mobile par un autre fil, de même diamètre, de même masse est suffisant pour qu'il soit possible de déceler à l'écoute une différence, invisible à la mesure, venant en fait de la façon dont a été étiré le fil ou encore du type d'isolant composant l'émail. Phénomènes que l'on trouve aussi sur les bobines mobiles des phonolec-

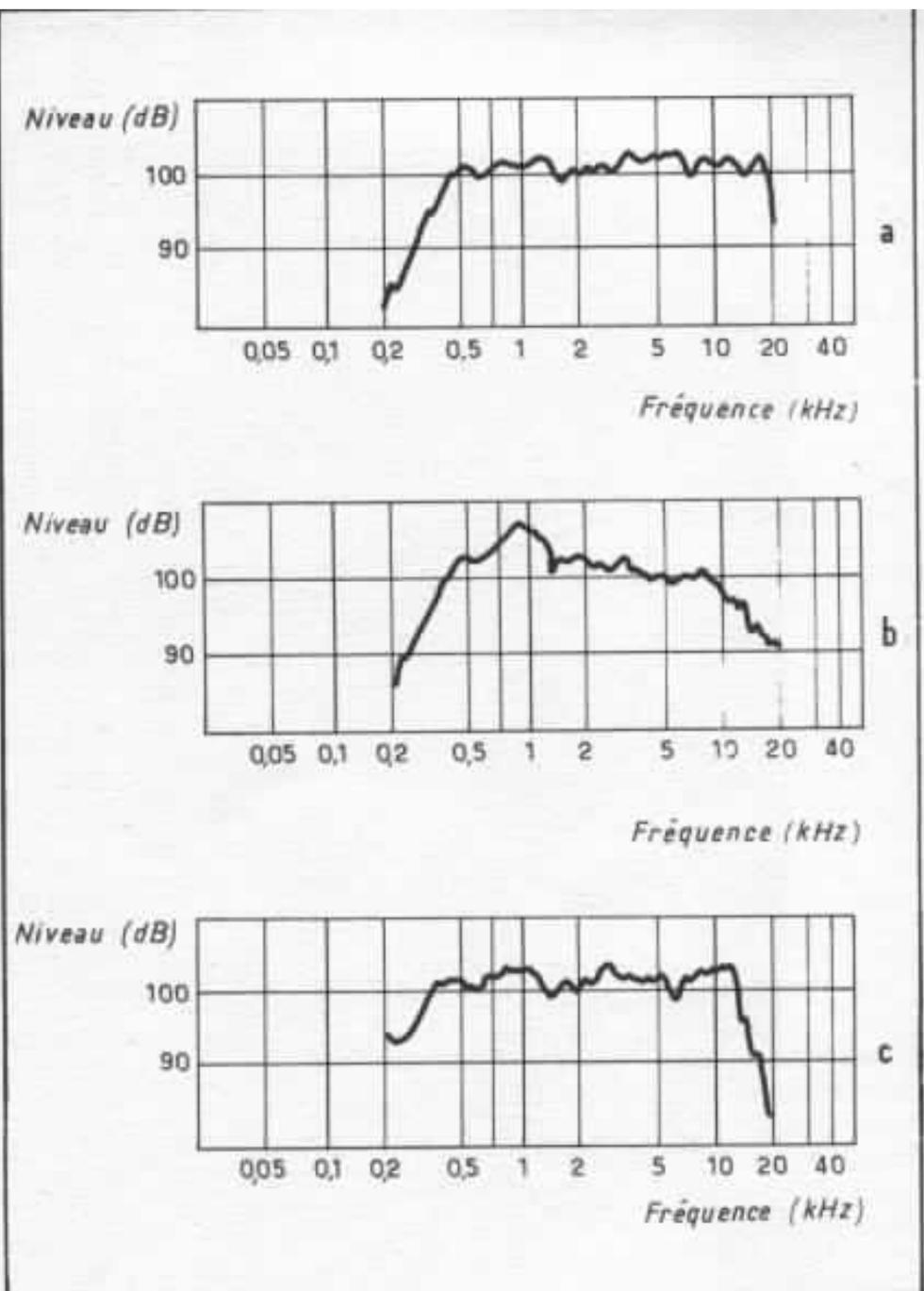


Fig. 13 : Exemple de trois courbes de réponse de chambre de compression 1/2".

moteurs de qualité, les quelques dispersions, dont certaines sont visibles à l'œil nu ( finition, matériaux, etc.) suffisent pour créer des différences flagrantes entre deux moteurs de même marque, de même référence. Sur bruit rose, par exemple, il est pratiquement impossible de trouver, parmi une centaine de moteurs, une seule paire vraiment parfaite. C'est pourquoi les moteurs de qualité, ainsi que les

pavillons destinés à la haute fidélité sont d'une fabrication soignée et réalisés sous des tolérances de fabrication de plus en plus sévères. Fort heureusement, c'est le chemin suivi par les plus sérieux constructeurs de chambres de compression.

L'auteur remercie M. Kinoshita (Pioneer) et Koizumi (Onken co Ltd) pour l'aide apportée pour la publication de cet article.

**Page non  
disponible**

# Mini-Onken

Jacques Mahul

*L'enceinte Onken, équipée du 38 cm Altec Lansing 416-8A et décrit dans le numéro 2 de l'Audiophile a fait beaucoup parler d'elle. Elle demeure pour beaucoup encore un rêve difficilement réalisable compte tenu du volume plus que considérable de cette réalisation hors pair. Elle reste malgré tout un espoir de perfection pour beaucoup. Jean Hiraga a redonné un élan nouveau à de nombreux audiophiles déçus de ne posséder aucune autre alternative qu'une telle construction en décrivant la petite Onken de dimensions beaucoup plus raisonnables et dont les performances dans le grave sont comparables à part, bien sûr, le rendement qui chute d'environ 4 dB. La différence de rendement entre les deux haut-parleurs, 416 et 414, est sur l'ensemble de la bande sonore de 4 dB. Il n'est évidemment plus possible d'utiliser le HD 17 HR 37 Audax et le T925 Fostex dans une configuration passive avec le filtre décrit dans le numéro 18 de l'Audiophile. L'utilisation d'un plus petit diamètre doté d'un gros moteur (30 cm, au lieu de 38 cm) permet de surcroît de s'abstraire plus aisément des phénomènes de pièces, du positionnement dans ces mêmes pièces et également d'accroître la réponse en transitoire.*

Cette alternative ne résoud pas pour autant tous les problèmes. Le volume interne de 192 l (évents compris), même s'il représente une réduction sensible par rapport à l'Onken originale qui avoisine les 350 l, reste assez conséquent. De plus, on ne peut pas parler de réduction de prix par rapport à l'original puis-

que le 414 est plus onéreux que le 416.

Il était donc logique et intéressant d'imaginer la création d'une troisième alternative d'un volume inférieur à la moitié de la petite Onken, dont les performances dans le grave seraient de haut niveau et qui serait une sorte de Mini-Onken que l'on

pourra associer à un médium-aigu spécifique en filtrage passif ou aux médiums-aigus actuels recommandés par l'Audiophile, en filtrage actif. Cette réduction de volume par rapport à la petite Onken s'accompagnera obligatoirement d'une baisse de rendement ne serait-ce que par l'utilisation d'un haut-parleur de dia-

mètre plus faible. Le but, alors, est de créer un caisson de moins de 100 l descendant à 50 Hz à - 3 dB possédant le rendement le plus élevé possible et sous une configuration Onken. Il est raisonnable de fixer un rendement minimal de 95 dB. Le Focal 10C01 semble tout particulièrement adapté à la situation et a même été légèrement modifié en paramètres pour mieux répondre au problème, comme nous l'expliquerons plus loin.

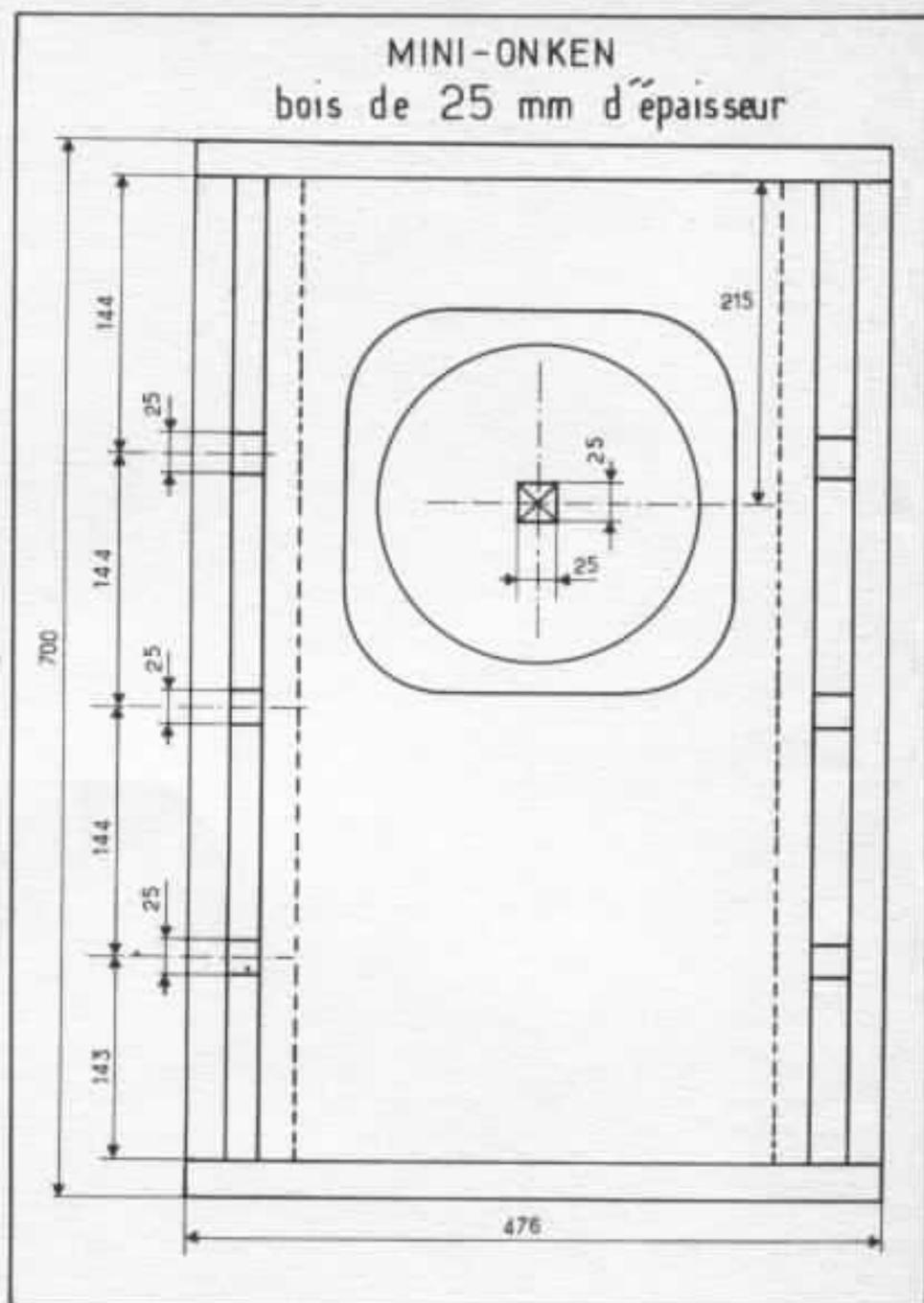
Le 10C01 Focal est un 26 cm avec une membrane en papier traité sur toute sa surface, une suspension inversée en PVC très légère et une bobine de 40 mm de diamètre en fil de cuivre rectangulaire. La bobine très légère ne possède qu'une seule couche et le fil est bobiné sur chant. Le remplissage dans l'entrefer est optimal, la force proportionnelle au rapport BL et elle aussi optimale et le rendement obtenu très élevé compte tenu du diamètre. Ce rendement s'élève à 95 dB/1 W/1 m en bruit rose, ce qui n'est inférieur au 414 que de 3 dB.

Mais avant de rentrer plus en détail dans cette réalisation, il serait bon de faire un retour sur l'enceinte Onken en général, petite ou grosse, telle que M. Eijiro Koizumi l'a conçue. Une petite enquête, calculs à l'appui, nous conduira à un résultat étonnant.

### L'enceinte Onken est-elle un bass reflex classique bien accordé ?

Ne connaissant pas les paramètres exacts du 416-8A ou 416-8B après le vieillissement recommandé par le concepteur, il ne nous était guère possible de procéder sur le caisson Onken original de 337 l à un quelconque rapprochement avec la méthode de calcul amorcé par Thiele, poursuivie et affinée par Small et Snyder.

Ne perdons pas de vue que la réalisation de M. Koizumi est



antérieure à l'aboutissement de cette méthode basée sur le calcul d'un bass reflex et de son accord parfait à partir des paramètres du haut-parleur.

Par contre, l'article du numéro 25 fournit les données essentielles pour le calcul du bass reflex associé au 414-8B et ainsi, vérifier quel type d'accord est associé à la petite Onken et que représente le coefficient  $k$  dont M. Koizumi fait état dans ses différents calculs.

Reprenons ces valeurs du 414-8B :

Fréquence de résonance  
 $f_s = 28,5 \text{ Hz}$

Coefficient de surtension  
 $Q_{TS} = 0,254$

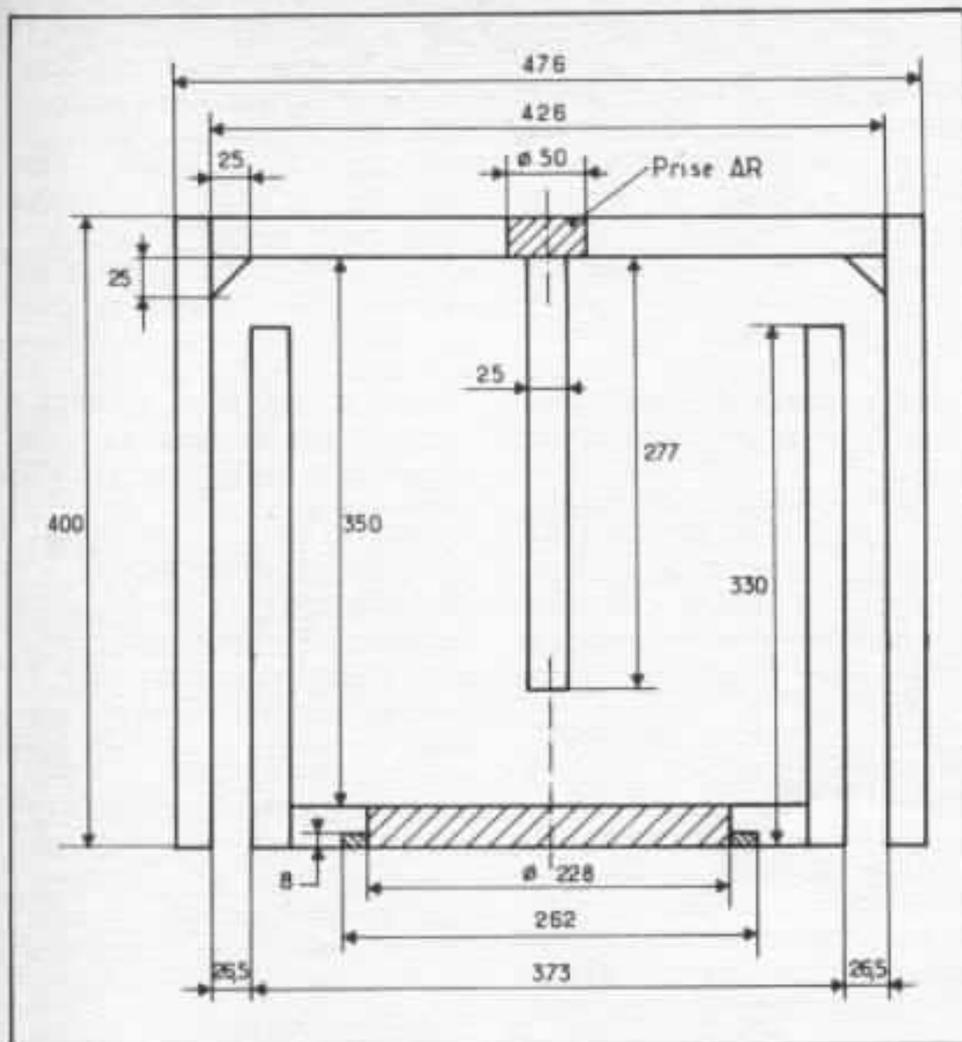
Masse équivalente  
 $M_{md} = 35,6 \text{ g}$

Rayon actif  
 $r = 13,3 \text{ cm.}$

On en déduit aisément la compliance du 414-8B :

$$C_{ms} = \frac{1}{(2\pi f_s)^2 \cdot M_{md}}$$

$$= 0,876 \cdot 10^{-3} \text{ mN}^{-1}$$



l'on peut évaluer à moins de 1 dB.

La fréquence de coupure basse à -3 dB théorique avec 155 l et  $n = 6,34$  est donc :

$$f_3 = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \frac{f_3}{Q_{TS}} = 44,56 \text{ Hz}$$

et la fréquence d'accord du bass-reflex :

$$f_b = 0,39 \frac{f_3}{Q_{TS}} = 43,76 \text{ Hz}$$

On retrouve donc avec un calcul classique la valeur annoncée par M. Koizumi à 0,06 Hz près ! Ce dernier avance une valeur  $f_3 = f_0 \times k = 28,5 \times 1,57 = 44,7 \text{ Hz}$  qu'il avait arrondi à 45 Hz. La concordance est satisfaisante. Passons aux calculs des dimensions des événements, toujours par la méthode classique, la compliance de la boîte pour 155 l est, avec  $V_B$  en  $m^3$  :

$$C_{AB} = \frac{V_B}{1,4 \cdot 10^5} = \frac{155 \cdot 10^{-3}}{1,4 \cdot 10^5} = 11,07 \cdot 10^{-7}$$

Et la masse acoustique de l'évent sera :

Egalement la surface active :

$$S_D = 5,557 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

soit un volume équivalent à la suspension :

$$V_{AS} = C_{ms} S_D^2 \times 1410^7 = 378,7 \text{ l}$$

et un  $V_{AS} Q_{TS}^2$  volume qu'il faut pondéré par les alignements de Thiele pour obtenir le volume interne utile cherché de 24,43.

Dans le cas présent, nous procéderons à l'inverse et nous déduirons la valeur de l'alignement  $n$  à partir du volume de 155 l retenu par M. Koizumi. Nous vérifierons ensuite quelles sont les dimensions de l'évent et si celles-ci correspondent à celles données par le concepteur.

L'alignement

$$n = \frac{155}{V_{AS} Q_{TS}^2} = \frac{155}{24,43} = 6,34$$

Soit une valeur peu éloignée du coefficient idéal de 5,7 qui lui



procurerait un volume un peu inférieur (139,25 l) et une coupure basse un peu supérieure (47 Hz).

Le choix de cet alignement entraînera une très légère surtension dans l'extrême-grave par rapport à la linéarité parfaite que

$$M_{AP} = [(2\pi f_b)^2 \cdot C_{AB}]^{-1} = 11,95$$

Choisissons la même surface d'évent soit deux rangées de quatre événements d'une largeur de 3,8 cm et d'une hauteur de 18 cm. Soit une surface d'évent totale de :

$$S_{ev} = 550 \text{ cm}^2$$

correspondant grossièrement à la surface active du 414-8B. Pour une telle surface, la longueur idéale ressort à :

$$l = \frac{M_{AP} \cdot S_{ev} \cdot 10^{-2}}{1,293} = 50,83 \text{ cm}$$

$$(S_{ev} \text{ en cm}^2)$$

En procédant aux corrections d'extrémité qui sont importante dans le cas présent, la longueur réelle se situe à

$$l' = l - 1,4 \sqrt{\frac{S_{ev}}{2\pi}} = 50,83 - 13,1 \\ = 37,72 \text{ cm}$$

La longueur choisie par M. Koizumi est 36,5 cm, soit 1,2 cm et 3 % inférieure à la valeur calculée. Nous pouvons conclure à une identité quasi-parfaite des deux approches. Le coefficient  $k$  établi par le concepteur est le reflet parfait du mode de calcul Thiele-Small-Snyder. Il y a identité entre le coefficient sans doute né de l'expérience et le calcul théorique et nous ne pouvons que saluer la performance de M. Koizumi qui, **ne l'oublions pas, est antérieure à l'établissement de ce mode de raisonnement.**

En conclusion, nous pouvons affirmer que le caisson Onken dérivé dans son dessin du baffle Jensen est un bass-reflex parfaitement bien accordé et selon les lois les plus rigoureuses du 4<sup>e</sup> ordre.

Les calculs que nous évoquons sont une mise en forme des travaux de Snyder qui a repris, lui-même, les travaux de Thiele et Keele en les pondérant de paramètres nouveaux. Ces études de Snyder sont bassées sur une observation simple. Il a remarqué une assez grande dispersion des caractéristiques et des paramètres des haut-parleurs d'une même modèle dans une série. Cependant, ces variations n'avaient qu'un effet minime sur les performances acoustiques des bass-reflex accordés les utilisant.

Conclusion, les performances des systèmes de haut-parleurs sont actuellement déterminés par une ou plusieurs valeurs peu-variables des woofers. C'est ainsi qu'il a pu dégager des paramètres comme  $V_{AS} Q_{TS}$ ,  $f_b$ ,  $f_3$  qui permettent de prédéterminer des courbes de réponse et des optimisations de volumes.

L'enceinte Onken est un système accordé du 4<sup>e</sup> ordre avec  $Q_T = 0,254$  et un alignement de  $n = 6,34$ .

Cette vérification effectuée, nous possédons un éclairage nouveau pour d'éventuelles extensions de ce type d'enceinte à des systèmes plus compacts qui constituent l'objet de notre étude.

### Une enceinte Onken avec le Focal 10CO1

Tout ce que nous avons évoqué précédemment ne tient évidemment pas compte du positionnement extrêmement délicat du haut-parleur de grave dans un tel caisson. Ce positionnement a une importance capitale sur la forme même de la courbe de réponse dans le bas-médium et sur l'établissement des modes des ondes stationnaires internes. La recherche est alors plus subjective et aussi très liée à l'expérience.

L'idée de départ est donc un caisson Onken équipé de 10CO1 avec un alignement de 6,34 et une surface d'évent voisine de la surface active du 10CO1 soit 343 cm<sup>2</sup>. La construction se fera en aggloméré de 25 mm d'épaisseur. Nous ne ferons pas appel à des bois trop spécifiques comme le Nantex ou autres pour la bonne raison que les surfaces des panneaux étant beaucoup plus réduites et que le système de construction restant le même avec huit événements et deux panneaux internes, les problèmes de rigidité sont moins aigus. Seule la présence d'un tasseau de 30 x 30 mm partant du fond de l'enceinte pour arriver sur la pla-

que de fond eu 10CO1 Focal témoigne d'une différence avec les deux caissons Onken déjà connus. Ce tasseau permet de s'abstraire de toute vibration secondaire, de saladier, de moteur sur saladier, de saladier sur paroi avant de la caisse, tout en renforçant encore la rigidité de la caisse dans le sens de la profondeur.

Tous les calculs et toutes les optimisations du volume et des dimensions des événements ont été effectuées avec le  $Q_{TS}$  d'origine du Focal 10CO1. Nous n'avons pas tenu compte d'un accroissement éventuel de ce dernier après mise en série d'une résistance de self. Pourquoi un tel choix ? Tout d'abord nous nous plaçons dans les mêmes conditions que pour les deux caissons Onken précédents équipés des 416-8A et 414-8B ce qui facilite les comparaisons. Ensuite, il faudrait prévoir au minimum deux caissons très différents l'un de l'autre tant en volume qu'en longueur d'événements, l'un pour le filtrage actif l'autre pour le filtrage passif. Selon les valeurs des résistances des selfs mises en série avec le 10CO1, il peut y avoir des écarts considérables, quinze à vingt litres dans le cas présent, pour un même alignement et donc une même optimisation. Il n'est même pas possible de partir d'un volume plus grand (la version passive) pour passer à la version plus petite (la version active) car les longueurs d'événements seront, elles aussi, différentes.

La formule du calcul du volume optimal pour un choix déterminé d'alignement :

$$V_B = n V_{AS} (Q_{TS})^2$$

nous montre clairement l'importance d'une variation du  $Q_{TS}$  puisque ce dernier est au carré. Cette variation, qui est une augmentation du  $Q_{TS}$  du haut-parleur après une mise en série d'une self est imputable à l'augmentation du  $Q_{ES}$  et non pas du  $Q_{MS}$  qui demeure inchangé.

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

$Q_{MS}$  est toujours beaucoup plus grand que  $Q_{ES}$ , ce qui revient à assimiler le dénominateur  $Q_{ES} + Q_{MS}$  à  $Q_{MS}$ .

seul et considérer que l'augmentation de  $Q_{TS}$  est presque proportionnelle à celle de  $Q_{ES}$ .

Le nouveau  $Q_{ES}$  que nous pourrions appeler  $Q_{ES}'$  est en fait accru du facteur

$$\frac{R_{CC} + R_s}{R_{CC}}$$

$R_{CC}$  est la résistance continue de la bobine du haut-parleur et  $R_s$  la résistance de la self en série.

$$\text{soit } Q_{ES}' = \frac{R_{CC} + R_s}{R_{CC}} Q_{ES}$$

Prenons l'exemple du 10CO1 dont les derniers paramètres sont les suivants :

$$f_1 = 25,7 \text{ Hz}$$

$$Q_{MS} = 2,054$$

$$Q_{ES} = 0,222$$

$$Q_{TS} = 0,2$$

$$V_{AS} = 288 \text{ l}$$

$$\text{avec } S_D = 3,43 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$C_m = 1,75 \cdot 10^{-3} \text{ mN}^{-1}$$

• La version active se calcule aisément de la manière suivante :

$$V_B = V_{AS} Q_{TS}^2 \times n$$

soit avec  $Q_{TS} = 0,2$  et  $n = 6,34$

$$V_B = 73,04 \text{ l}$$

• avec une self de 3 mH qui ferait 1  $\Omega$  de résistance, la version passive aura le volume suivant :

$$V_B = V_{AS} Q_{TS}'^2 \times n$$

$$\text{avec } Q_{TS}' = \frac{Q_{ES}' \times Q_{MS}}{Q_{MS} + Q_{ES}'}$$

$$\text{et } Q_{ES}' = Q_{ES} \times \frac{R_{CC} + R_s}{R_{CC}}$$

$$R_{CC} = 6,1 \Omega$$

$$R_s = 1 \Omega$$

$$Q_{MS} = 2,054$$

$$n = 6,34$$

$$V_{AS} = 288 \text{ l}$$

soit  $Q_{ES}' = 0,258$

$$Q_{TS}' = 0,229$$

et  $V_B = 95,75 \text{ l}$

• avec une self de 3 mH qui ne ferait que 0,3  $\Omega$  de résistance la version passive aura un volume très différent :

$$V_B = V_{AS} Q_{TS}''^2 \times n$$

$$\text{avec } Q_{TS}'' = \frac{Q_{ES}'' \times Q_{MS}}{Q_{MS} + Q_{ES}''}$$

$$\text{et } Q_{ES}'' = Q_{ES} \times \frac{R_{CC} + R_s}{R_{CC}}$$

$$R_{CC} = 6,1 \Omega$$

$$R_s = 0,3 \Omega$$

$$Q_{MS} = 2,054$$

$$n = 6,34$$

$$V_{AS} = 288 \text{ l}$$

$$\text{soit } Q_{ES}'' = 0,233$$

$$Q_{TS}'' = 0,209$$

$$\text{et } V_B = 79,75 \text{ l.}$$

Voilà bien un exemple de calcul qui confirme l'importance de la valeur de la résistance de la self dans notre choix définitif du volume.

Les volumes passent de 73,04 l à 95,75 l en passant par 79,75 l. Les fréquences de coupures sont successivement 51 Hz, 44,5 Hz et 48,8 Hz pour ces trois volumes, les formes des trois courbes de réponse sont identiques.

Les écarts de volume sont considérables, spécialement entre la première version et la deuxième version. Les longueurs des événements, à surfaces égales sont, elles aussi, très différentes. Plus la résistance est importante, plus le volume sera élevé et la fréquence de coupure basse pour le même type d'optimisation et la même forme de courbe de réponse. Dans certains cas, la présence d'une self résistive peut être d'un heureux secours surtout quand le  $Q_{TS}$  est faible et la fréquence de résonance élevée car alors pour descendre un peu bas, il faudrait, sans self, créer une grosse surtension dans le bas avec un alignement d'au moins 8, ce qui est fâcheux pour la linéarité et... l'écoute.

Rappelons la formule de la fréquence de coupure à -3 dB :

$$f_3 = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \frac{F_1}{Q_{TS}}$$

à  $n$  constant plus  $Q_{TS}$  croît, plus  $f_3$  décroît.

En conclusion, une version passive de notre système Onken équipée du grave Focal 10CO1 ne possède une réelle existence que si la valeur de la résistance de la future self série est donnée ou imaginée. Or, la résistance d'une self est liée à la valeur de la self. Tout ce que l'on peut imaginer, c'est qu'elle sera comprise entre 2 mH et 4 mH dans le cas du futur couplage avec son médium-aigu en version passive.

Se devant de répondre aux plus grands besoins de nos lecteurs, nous optons pour la première solution :  $V_B = 73 \text{ l}$ ,  $f_3 = 51 \text{ Hz}$  qui a le mérite d'être directement utilisable dès maintenant et couplable avec tous les médiums-aigus actuels en filtre actif. De plus, cette solution est la plus élégante sur le plan technique car elle est la plus compacte (73 l pour 51 Hz à -3 dB à 95 dB, c'est petit et performant).

Quand nous couplerons ce caisson par l'intermédiaire d'un filtre passif, à notre futur médium-aigu, toute notre attention sera portée sur le choix d'une self très peu résistive, ce qui, dans tous les cas est la démarche la plus logique car cela permet d'éviter tout désamortissement du 10CO1. L'intervention de cette future self ne modifiera que très peu les performances du système et l'optimisation qu'il serait logique de repenser donnerait des volumes et des longueurs d'événements qui ne différeraient que de quelques pour cent des valeurs choisies. Ces variations resteront inférieures à la tolérance donnée sur les calculs estimés à  $\pm 10 \%$ .

L'influence de la valeur de la résistance de la self (ou des selfs, dans un filtrage du troisième ordre) sur les accords dans le grave d'une enceinte bass reflex

accordée ou d'une enceinte close n'est pas suffisamment évoquée et reste une source d'échec importante.

### L'évolution des paramètres du 10CO1

Le 26 cm Focal possédait auparavant les paramètres suivants :

$$f_1 = 29 \text{ Hz}$$

$$Q_{TS} = 0,178$$

$$V_{AS} = 247,1 \text{ l.}$$

Sans tenir compte d'une quelconque résistance en série avec le woofer, nous obtenions dans  $V_B = 62,5 \text{ l}$  une fréquence de coupure  $f_1 = 58 \text{ Hz}$  avec un alignement  $n = 8$ , soit une légère surtension dans l'extrême-grave. Dans le cas d'un caisson du type Onken avec un alignement  $n = 6,34$ , le volume serait  $V_B = 49,6 \text{ l}$  et la fréquence de coupure  $f_1 = 64,7 \text{ Hz}$ . Si le volume est effectivement très réduit (moins de 50 l), la fréquence de coupure est manifestement trop haute.

Dans le cas d'un volume supérieur par exemple  $V_B = 62,5 \text{ l}$ , la coupure basse  $f_1$  devient plus acceptable mais la surtension risque d'être un peu gênante à l'écoute, de plus nous nous éloignerons des accords réalisés sur les caissons Onken et seul l'aspect extérieur ne pourrait alors évoquer ce type de réalisation.

C'est ainsi que le 10CO1 a été légèrement modifié dans ses paramètres pour permettre une utilisation parfaite dans un caisson du type Onken. Le cône a été légèrement accru en diamètre, la surface active est donc légèrement en augmentation ; 2 mm ont été rajoutés au rayon. Le rendement du 10CO1 se situe à 95 dB l W/1m. La surface active ressort à 343 cm<sup>2</sup> au lieu de 330 cm<sup>2</sup> précédemment. La compliance de la suspension a très peu variée :  $1,75 \cdot 10^{-3} \text{ mN}^{-1}$  pour  $1,78 \cdot 10^{-3} \text{ mN}^{-1}$  auparavant. Le poids de l'équipage mobile a été légèrement accru pour passer à 21,9 g alors que

dans la version précédente il se situait à 17 g. La fréquence de résonance est tombée à 25,7 Hz, le volume équivalent à la suspension devient 288 l et le  $Q_{TS}$  se situe à 0,2.

La surface active est supérieure à la moyenne des haut-parleurs de 250 mm actuellement disponibles sur le marché mais reste évidemment inférieure à celle du Altec 414-8B de 310 mm de diamètre.

L'accroissement du  $Q_{TS}$  et la diminution de la fréquence de résonance  $f_1$ , permettent de réduire la fréquence de résonance pour un même alignement mais cela au prix d'une augmentation du volume. Ces nouveaux paramètres permettent de réaliser un petit caisson Onken de moins de 75 l de volume utile (sans le volume des événements) avec la même forme de courbe de réponse ( $n = 6,34$ ) et une excellente fréquences de coupure à - 3 dB voisine de 50 Hz.

### Le volume définitif, le calcul des événements

Il est évidemment très difficile de tomber exactement sur un volume interne de 73,04 l. L'expérience nous ayant toujours montré qu'il était préférable de prévoir un volume légèrement supérieur.

Les dimensions extérieures de la caisse, 700 mm de hauteur, 476 mm de largeur et 400 mm de profondeur, découlent à la fois des 75 l de volume interne recherché, de critères de positionnement du haut-parleur dans le caisson, de critères d'écoulement de l'air dans les événements et de formes du caisson interne pour le meilleur établissement des ondes stationnaires internes.

Le volume interne ressort à 75,8 l auquel il faut retrancher le volume du tasseau : 0,17 l, les volumes des cornières de l'arrière : 0,4 l, le volume du haut-parleur, membrane + moteur + saladier : 0,3 l, soit un volume interne final de 74,9 l :

$$V_B = 74,9 \text{ l}$$

ce qui nous donne un alignement exact  $n = 6,5$  et une fréquence de coupure  $f_1 = 50,4 \text{ Hz}$ .

Nous pouvons passer au calcul des événements. Il serait logique de s'imposer comme point de départ une surface d'événements voisine de 340 cm<sup>2</sup> répartie en huit événements comme cela est fait dans le caisson Onken. Nous sommes obligés de réduire cette surface d'environ 10 % pour en rester à 305 cm<sup>2</sup> comme nous allons le voir. La fréquence d'accord du bass-reflex est :

$$f_b = 0,39 \cdot \frac{f_1}{Q_{TS}} = 50,1 \text{ Hz}$$

La compliance acoustique de la boîte est :

$$C_{AB} = \frac{V_B}{14 \cdot 10^{-5}} = \frac{74,9 \cdot 10^{-3}}{1,4 \cdot 10^3} \\ = 5,35 \cdot 10^{-7}$$

La masse acoustique de l'événement (les huit événements réunis) sera :

$$M_{AP} = [(2\pi \cdot f_b)^2 \cdot C_{AB}]^{-1} \\ \text{soit } M_{AP} = 18,86$$

si nous prenons une surface de 3,40 cm<sup>2</sup> nous obtenons une largeur finale un peu excessive qui ne laisserait que peu d'ouverture entre l'extrémité de la paroi de l'événement et le fond. Il faudrait accroître la profondeur et réduire la largeur, ce qui n'est pas souhaitable pour tous les autres critères évoqués précédemment.

Avec une surface globale de 305 cm<sup>2</sup>, la longueur sera :

$$l = \frac{M_{AP} \times 305}{1,293} \cdot 10^{-2} \\ = \frac{18,86 \times 305}{1,293} = 44,49 \text{ cm}$$

En procédant aux corrections usuelles d'extrémité, la longueur l devient :

$$l' = l - 1,4 \sqrt{\frac{305}{2\pi}} = 34,7 \text{ cm}$$

Nous réduirons cette valeur à 33 cm car il faut tenir compte du

frein acoustique constitué par l'entrée de l'évent en forme de coude sur une largeur de 45 mm (entre l'extrémité de la paroi de l'évent et la paroi du fond)

soit 1" = 33 cm

Chaque évent aura une largeur de 26,5 cm. Ils sont séparés entre eux par des mini-parois de 25 mm d'épaisseur. Toute la caisse est prévue en aggloméré de 25 mm.

### La construction

La construction est très simple, toutes les parois seront collées et vissées. Choisir un aggloméré de forte densité comme la mélamine par exemple. La façade avant n'est pas prévue démontable, car la fixation du 10CO1 se fera par l'avant et non pas par l'arrière comme c'est le cas avec les deux caissons Onken évoqués plus haut. Une face avant amovible nécessiterait des tasseaux verticaux et horizontaux qui réduiraient le volume interne et ne feraient qu'accroître les risques de fuite et de vibrations. Par contre, une feuillure de 8 mm de profondeur est prévue sur la paroi avant. Cette feuillure permet de bien maintenir le saladier en Zamac du 10CO1 sur son pourtour et donnera une latitude supplémentaire dans le sens de la profondeur pour l'ajustement du 10CO1 sur l'extrémité du tasseau intérieur de 277 mm de longueur. Il est fortement conseillé de noyer toute la partie creuse de l'arrière du saladier de mastic Bostik et d'isoler ce même saladier de la paroi avant avec ce même mastic. De même, il est préférable de coincer entre l'extrémité du tasseau et la plaque de fond du moteur du 10CO1 un petit morceau de feutre de 2 mm d'épaisseur. Fixer le saladier avec quatre grosses vis à aggloméré ou mieux, si l'opération ne vous semble pas trop délicate, percer avec précision quatre trous et fixer de l'intérieur quatre ergots pour vis à métaux. Ne pas



oublier de percer un trou de 40 mm de diamètre pour une prise arrière. Cette prise arrière devra accepter du câble de 2,5 mm<sup>2</sup> de section. Placer cette prise arrière suffisamment haute sur la paroi arrière de manière à réduire les longueurs externes de fil pour un éventuel filtre passif. Le revêtement intérieur est constitué de feutre de 10 mm d'épaisseur référence UJS 10 fabriqué par EREM. Coller en quelques points seulement les plaques de feutre sur le fond, le haut, le bas et les côtés des parois constituant les événements. Ne rien mettre dans les événements bien sûr. Il est inutile

de mettre du feutre sur la paroi frontale sous le haut-parleur. Il sera bon d'isoler le caisson du sol par l'intermédiaire d'un socle très dense d'environ 30 à 40 mm d'épaisseur.

Il sera préférable de câbler le 10CO1 à la prise arrière avec du câble de forte section.

### Perspectives d'avenir

Un médium-aigu est en cours d'élaboration pour compléter l'ensemble. Un filtre passif lui sera associé. Nous ne pouvons pas encore en dévoiler le secret si ce n'est qu'un nouveau médium est en cours d'étude...

**Page non  
disponible**

# Réflexions sur la réalisation des caissons « Onken »

*Philippe Viboud*

*Encouragé par les articles de MM. Hiraga et Piel, ainsi que par les écoutes successives, je me suis lancé à mon tour dans la construction d'une paire de « Onken-Jensen ». Ayant pris des photos durant la réalisation de mon système, il m'est venu par la suite l'idée d'en faire un article qui pourrait rendre quelques services aux amateurs arrêtés par l'aspect pratique de cette réalisation. J'ai donc essayé dans ces lignes de retracer le plus partiquement possible cette petite aventure.*

Mon principal souci a été la précision à tous les niveaux de la fabrication, afin que l'amateur potentiel puisse clairement prévoir les principales difficultés sur lesquelles j'ai moi-même buté. Il faut bien avoir à l'esprit dès le départ que le temps passé ne compte pas et que si quelque chose ne va pas lors d'une phase de montage, il vaut mieux s'arrêter quelques temps pour reprendre avec du recul et de la réflexion. En un mot : ne jamais s'énerver, ni désespérer !

D'où proviennent les difficultés ? Elles sont toutes plus ou moins liées à un seul facteur : le bois ! Le Nantex 25, excellent

matériau, est très dense, donc très dur pour un bois. Cette qualité devient un défaut quand il s'agit de le travailler ! Nous en reparlerons tout au long du montage. Découlant de cette densité, il y a aussi le poids qui implique pratiquement (au niveau du particulier) de monter les caissons dans la pièce pour laquelle ils sont prévus. A titre indicatif, je donne les poids successifs des différentes parties rentrant dans leur constitution :

- Face supérieure ou inférieure : 10 kgf ( $\times 2$ )
- Face avant (sans HP) : 10 kgf ( $\times 1$ )
- Filtre : 17 kgf ( $\times 2$ )

— Face arrière : 17 kgf à 30 kgf ( $\times 1$ ) [selon version].

Lorsque les faces supérieure, inférieure et les filtres sont assemblés, l'ossature pèse donc déjà 54 kgf ; en rajoutant le fond, 71 à 84 kgf ; et terminé avec la face avant, le HP (10,5 kgf)... 90 à 105 kgf emballé et pesé ! Ajouté à cela que le volume ne permettant pas des prises faciles, je vous laisse imaginer les suées que l'on peut attraper quand, comme moi, on est tout seul pour retourner les « monstres » !... Après ça, on comprend les difficultés rencontrées par les grands audiophiles japonais pour axer et centrer des pavillons de plusieurs tonnes !

Nous aborderons donc successivement les divers matériaux utilisés, l'outillage nécessaire à la réalisation complète et enfin les divers stades de celle-ci.

## Matériaux utilisés

**Le bois.** Je ne m'étendrai pas sur le Nantex 25, tous ceux qui lisent l'Audiophile le connaissent de longue date. Il est vendu actuellement en plaque de 2,20 x 1,20 m et ce, en diverses épaisseurs. Normalement quatre plaques suffisent, découpées selon les schémas ci-dessous. Eventuellement on peut prendre une plaque d'épaisseur supérieure (50 à 60 mm) pour y découper des fonds plus rigides. Cette idée m'étant venue a posteriori, j'ai acheté une cinquième plaque en 25 que j'ai vissée et collée sur le fond initialement prévu (cf. plus loin). Ces plaques peuvent être découpées sur place chez Nanty. J'en reparlerai lors de l'étude de l'outillage.

En plus du Nantex, il faut aussi prévoir des tasseaux, à savoir au minimum un de renfort

AV/AR (0,5 m par enceinte). On peut aussi en utiliser pour fixer la face amovible. Il en faut alors environ 6 m pour les faces avant.

Nous reviendrons sur les problèmes soulevés par ces tasseaux.

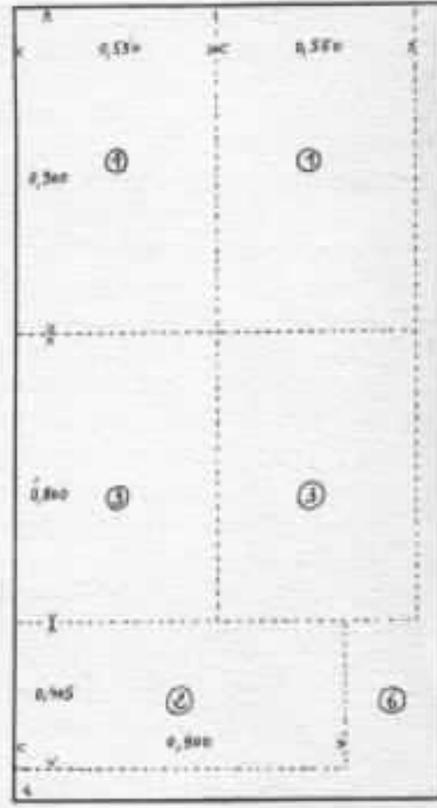
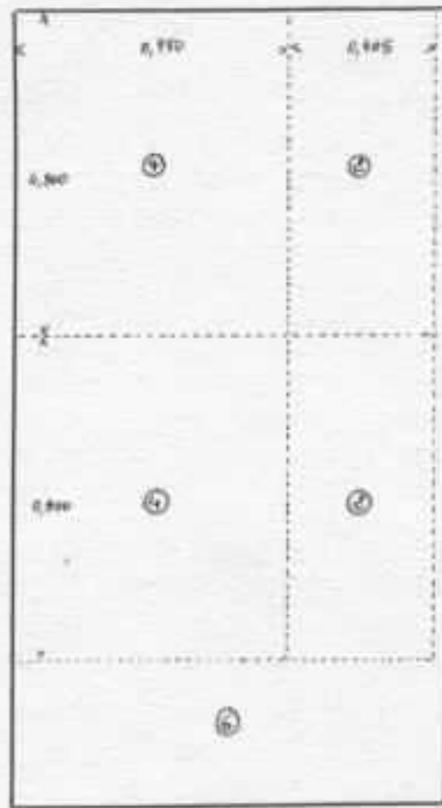
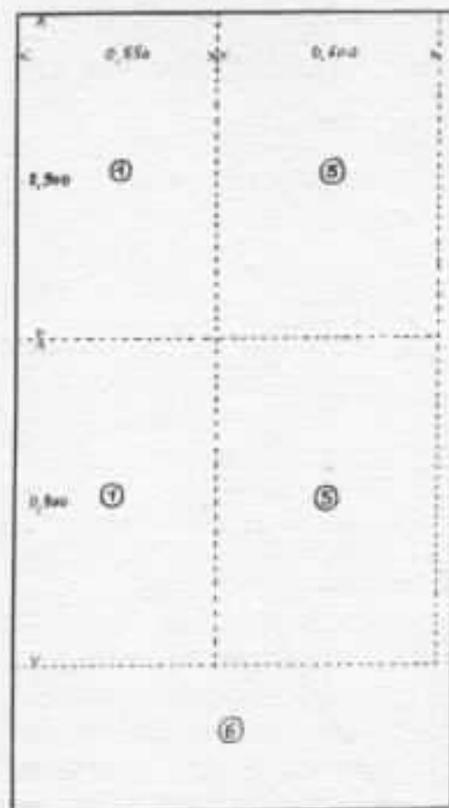
**La colle.** Leur diversité rend les solutions assez nombreuses et sujettes à polémique. Il a été précisé dès le début que la colle à chaud donne les meilleurs résultats, en particulier dans le temps. Le marché actuel est envahi par les colles vinyliques et certaines de ces colles blanches ne sont pas si mauvaises que ça. Il serait sûrement très instructif de mettre en compétition différentes marques sur des échantillons et de faire des essais de rupture en traction, cisaillements, réactions à la chaleur, humidité...

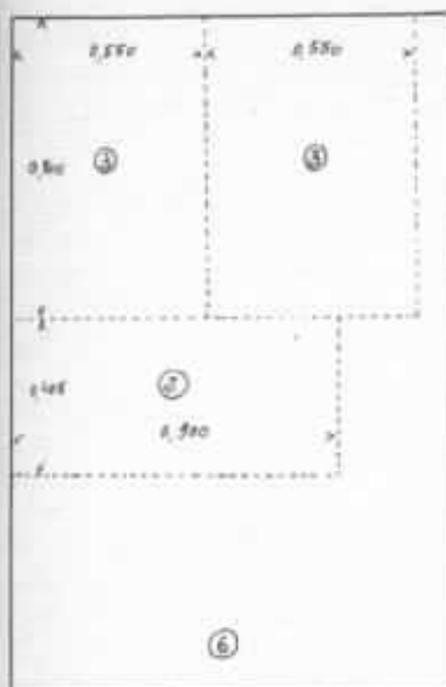
Contrairement à ce qu'on pourrait penser, il n'en faut pas énormément pour construire une paire de « Onken ». L'encollage des panneaux est fondamental et c'est plus le parfait ajustage des deux surfaces et la bonne répartition d'une très mince couche qui fait la qualité. Si l'on met trop de colle, non seulement lors du ser-

rage, celle-ci coule partout, mais de plus elle fait une surépaisseur sur laquelle les panneaux glissent (un peu comme l'aquaplaning avec les pneus d'automobiles). Personnellement, j'ai utilisé de la « spéciale menuiserie » donnant sans pression excessive une prise en une petite heure, ce qui laisse un peu de temps pour ajuster l'ensemble. En effet, l'emploi de colles Néoprène permet des collages puissants, mais présente l'inconvénient d'une prise instantanée, or pour ajuster au millimètre des panneaux de plusieurs kilos du premier coup, je vous laisse deviner la difficulté !...

Il faut aussi coller le feutre : là, par contre, les Néoprène, les « spéciales tissus » sont de bonnes solutions. Ici, j'ai pris de la « colle pour liège » pour des raisons que j'exposerai lors de cette phase de montage. Prévoir aussi certains produits d'étanchéité genre blackson, joint silicone...

**Les vis.** C'est un point aussi fondamental que la qualité du bois ou de la colle. J'ai longtemps cherché et... j'ai trouvé



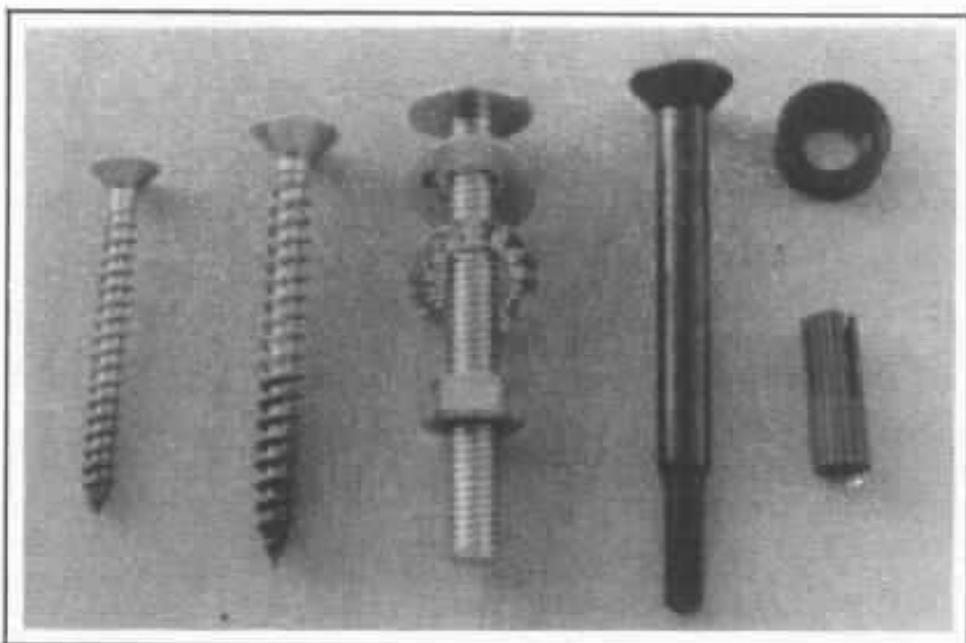


1 Côtés :	0,900 × 0,550 (× 4)
2 Filtres :	0,900 × 0,405 (× 4) [+ 0,405 × 0,50 (× 8)]
3 Dessus/dessous :	0,800 × 0,550 (× 4)
4 Fonds :	0,900 × 0,750 (× 2)
5 Devants :	0,900 × 0,600 (× 2)
6 Renforts/Tasseaux :	0,400 × 0,150 (× 2) AV 0,700 × 0,100 (× 4) AR 0,350 × 0,100 (× 8) dessus/dessous

*Remarque : certaines cotes (profondeurs des côtés dessus/dessous dimensions des fonds) peuvent subir certaines modification en fonction des choix de montage (encastré ou non → cf plus loin) par exemple, les fonds non encastrés auraient comme dimensions : 0,950 × 0,800, ce qui aurait pour conséquence de diminuer les profondeurs à 0,525.*

une variété de vis autotaraudeuses de marque « Dynadrill » qui m'ont donné entière satisfaction. Ces vis (cf. photo 1) se font en de nombreuses tailles avec tête cruciforme faisée ou ronde. J'en ai utilisé de deux types : des 4 × 40 pour la fixation des renforts afin de ne pas traverser et des 5 × 50 pour tous les vissages sur chant. Ces dernières sont vraiment très robustes, le filetage sur toute la longueur mord très bien et la résistance à la traction est fort satisfaisante. L'embout est aussi autolubrifié pour faciliter l'opération de vissage. Cependant, lorsqu'on en achète beaucoup comme c'est le cas ici, ces vis reviennent assez chères.

Dans les « Onken », il faut une face amovible et les vis précédentes ne peuvent pas servir puisque leur principale qualité réside dans le fait qu'une fois plantées, je mets au défi n'importe qui de les ressortir ! Cette face amovible (soit avant ou arrière, nous verrons les avantages et inconvénients des deux méthodes) doit cependant être très bien fixée sous peine de vibrer ou d'entraîner un défaut d'étanchéité. Pour ça, il faut un ajustage très précis et des vis adéquates : j'ai trouvé une solution avec les vis cram-



*Photo 1 : Différentes vis utilisées, de G à D : autotaraudeuse 4 × 40, autotaraudeuse 5 × 50, boulon de fixation du HP, boulon-harpon pour fixation de la face amovible.*

pons. Le principe est simple : une tige filetée au bout de laquelle se trouve un écrou-harpon. Après avoir fait un pré-trou correct en diamètre et en longueur, on enfonce à fond la vis et on serre à l'aide d'une clé six pans. L'écrou avance alors sur le filetage et s'écarte, pénétrant ainsi solidement dans le support où il restera. En ôtant la vis, on est sûr de retrouver l'emplacement exact et un ser-

rage impeccable. La résistance à la traction pour les 6 × 62 est de 150 kgf par crampon : à raison de 21 crampons par face, on peut dire qu'elle fait corps avec le bâti. Là aussi le prix est assez élevé. J'ai résumé, à titre purement indicatif, dans un petit tableau, le nombre de vis de chaque sorte utilisées. Cela pourra peut-être paraître excessif, mais après tout on ne construit que rarement plus d'une paire de

Par enceinte, types de vis	4 × 40	5 × 50	Crampons
Renforts avant	11		
Renforts supérieurs et inférieurs	28		
Renforts arrières		30	
Tasseaux pour la fixation de la face amovible		20	
Filtres		28	
Faces supérieure et inférieure		72	
Tasseau avant/arrière		1	1
Fond (double épaisseur de Nantex 25 : facultatif)	(101)		
Fond (fixation)		62	
Face avant (amovible dans mon cas)			20
<b>Totaux</b>	<b>39 à 140</b>	<b>213</b>	<b>21</b>

Tableau 1 : Type et répartition de la visserie.

« Onken » dans sa vie d'audiophile, alors autant ne pas lésiner...

Je redonne aussi à la fin de ce chapitre les plans que tout le monde connaît, mais avec le plus de détails possible afin qu'ils puissent servir utilement lors du montage et des explications qui vont suivre.

**Le feutre.** Dernier matériau à acquérir. La qualité retenue par l'équipe de l'Audiophile est l'UJS 10, assez mou, vendu par EREM, Cette firme en fabrique de diverses densités et épaisseurs.

Ets EREM (47, rue de la Vanne, 92120 Montrouge. Tél. : 253.63.94)

Fonds	: 0,675 m <sup>2</sup>
Retours	: 0,216 m <sup>2</sup>
Dessus/dessous	: 0,750 m <sup>2</sup>
Côtés filtres	: 0,720 m <sup>2</sup>
Devant	: 0,540 m <sup>2</sup>
Tasseaux	: 0,100 m <sup>2</sup>
Rideau	: 0,540 m <sup>2</sup>

soit un total de 3,541 m<sup>2</sup> par enceinte. Prévoir large, le surplus servant toujours, ne serait-ce que pour recouvrir les petits supports des « Iwatas ».

### L'outillage

Dans ce chapitre, je n'ai envisagé que le cas d'un bricoleur amateur. Le montage peut être plus aisé en mettant en œuvre un matériel plus sophistiqué au niveau des scies, tours à bois... mais le prix et la place prise par de tels appareils font qu'ils sortent d'un budget raisonnable (à moins que l'on envisage la fabrication en série !...)

La première chose à laquelle on est confronté quand on a ses panneaux de Nantex est de les découper.

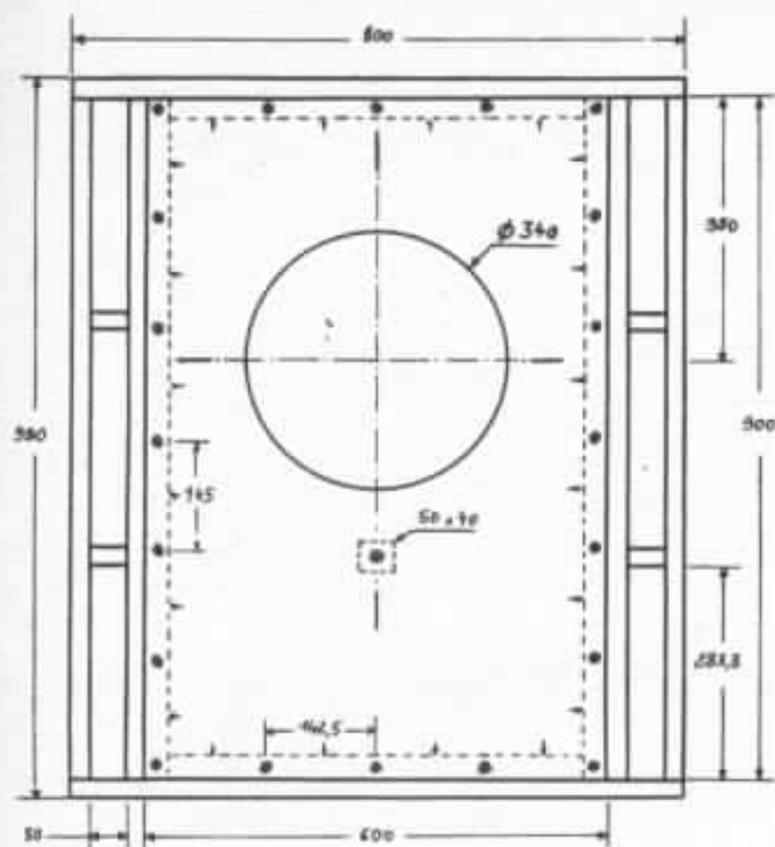
**Le sciage.** J'ai dit qu'il était possible de les faire scier sur place par l'entreprise Nanty, je dirai même que c'est conseillé car cela facilite le transport et

permet de bénéficier de la coupe d'une scie professionnelle. Dans ce cas, en donnant les plans précis des découpes, il n'y a pas de problème ou du moins peu... La précision des découpes n'est pas idéale et sur des panneaux de cette dimension et de cette épaisseur, un millimètre en trop ou en moins est chose courante. Il ne faut donc pas s'attendre à ce que tout s'emboîte du premier coup et ceci fera partie des travaux de finition (sûrement les plus longs !). Dans cette optique, en profiter aussi pour faire découper les filtres et les tasseaux de renfort, on annule ainsi les soucis de coupe. A noter que l'Audiophile est en mesure de fournir le même kit tout découpé et ajusté ce qui est fort appréciable et fera gagner un temps énorme. Si cependant, on veut découper soi-même les renforts et le trou du HP, il faut savoir que la dureté et l'épaisseur du bois ne facilite pas l'opération.

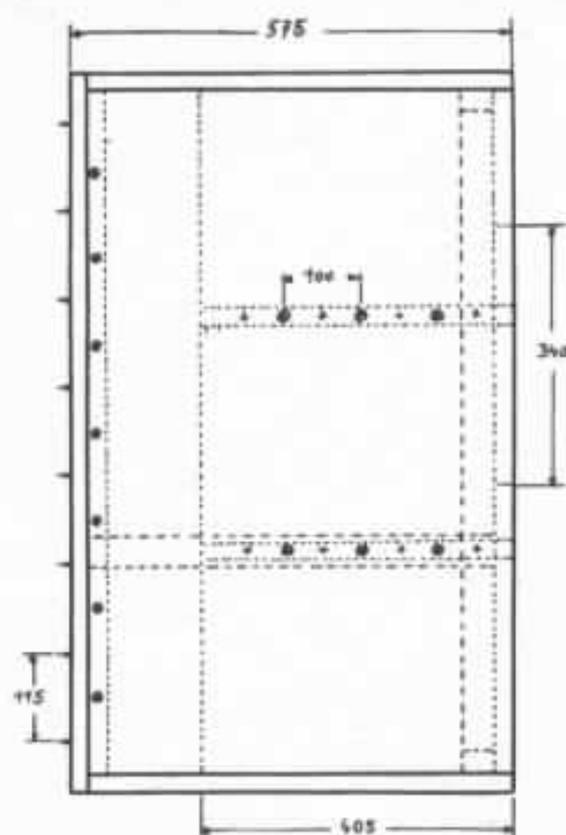
Il est indispensable de disposer au moins d'une scie sauteuse assez puissante (350 à 400 W) (cf. photo 2) ou mieux d'une scie à ruban.

Pour la scie sauteuse, il n'est pas recommandé d'utiliser un guide car le bois étant d'une extrême dureté, la lame a très vite fait de se mettre en travers et de faire des dégâts difficilement rattrapables. Il faut aussi changer de lame assez souvent. Le plus simple est donc de suivre lentement les tracés à main levée avec une petite marge ; la planéité sera alors rectifiée à l'aide d'une dégauchisseuse ou d'un rabot électrique.

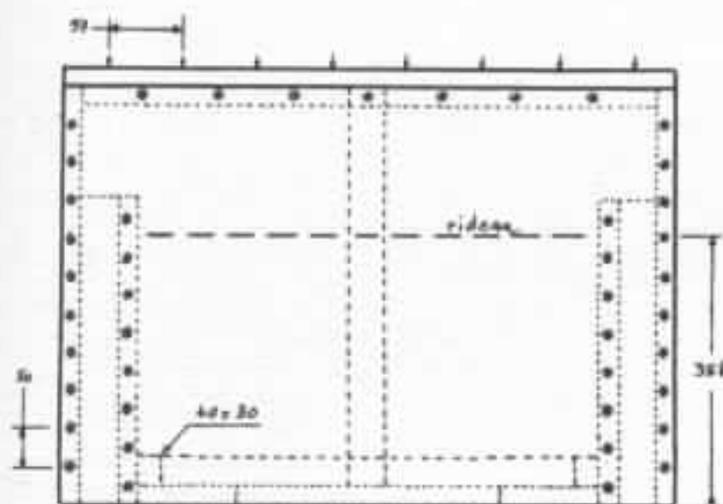
La scie sauteuse sera aussi utilisée pour le découpage des trous circulaires des HP. Là aussi, le guide de centrage transformant la scie en « compas » est assez illusoire pour la même raison. De plus, avec un diamètre de 340 mm, on travaille à la limite des possibilités de la majorité des guides. Il faut donc aussi pren-



Vue de face



Vue de gauche



Vue de dessus

• Echelle 1/10.

• Légende :  
- vis vue de profil

⊕ tête de vis

+ pointe de vis

Pour conserver leur clarté aux schémas, j'ai traité à part les détails de montage des renforts. De plus, j'ai dessiné un caisson avec un fond chanfreiné de 50 mm. Il est facile d'en faire abstraction pour monter un fond simple (25 mm).

dre une petite marge de sécurité et tout finir avec une lime demi-ronde. Avec un peu d'expérience, on arrive à de bons résultats.

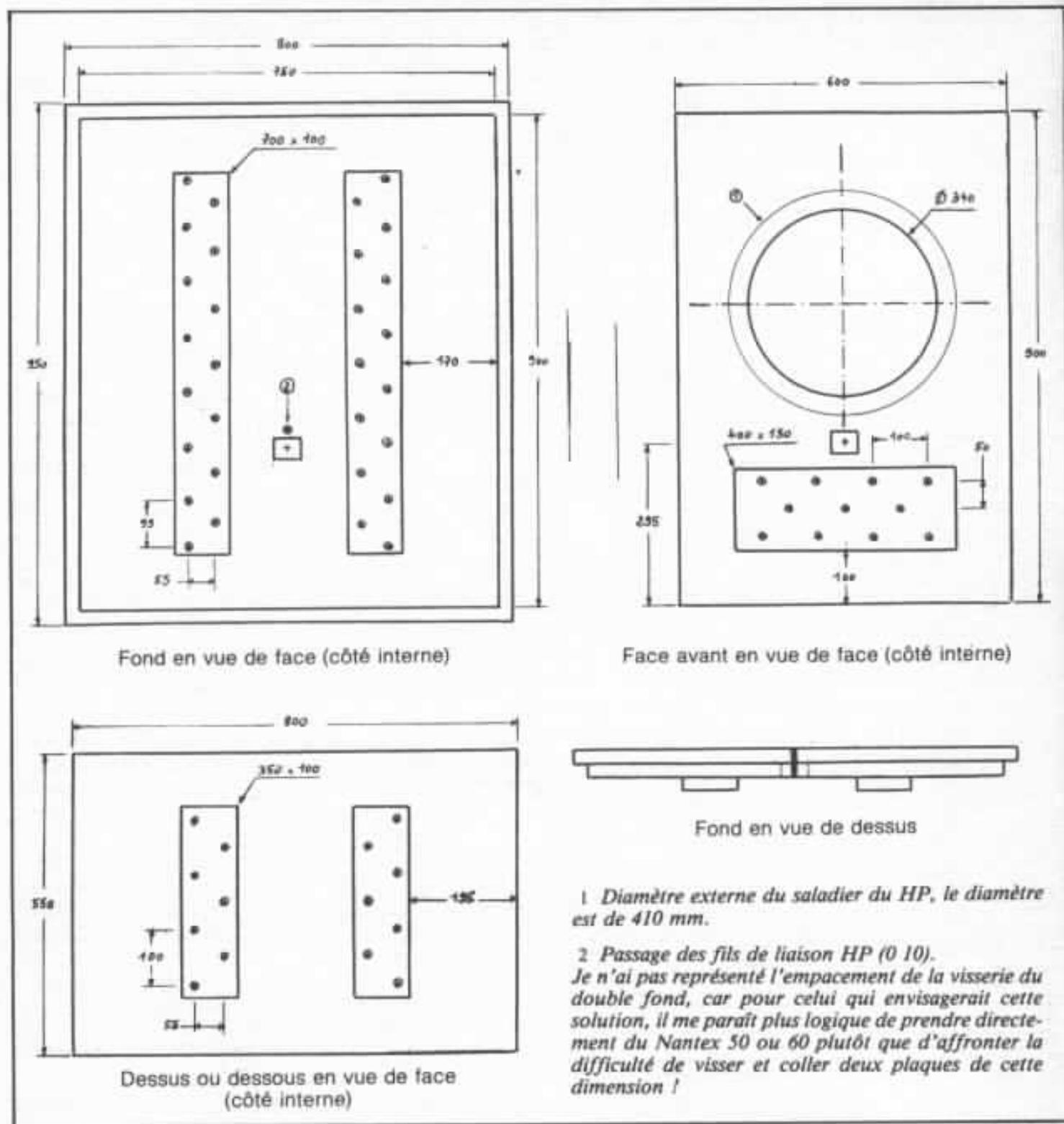
**Le vissage.** Sa qualité est cruciale pour la réussite de l'ensemble. Toujours à cause du bois, il est pratiquement hors de ques-

tion de l'effectuer à la main. La solution la plus rationnelle consiste à faire des avant-trous bien perpendiculaires, avec une perceuse tournant vite et montée sur guide.

Le diamètre des avant-trous doit être égal au corps de la vis, soit 3 mm pour les 5 × 50 et 2 mm pour les 4 × 40. Plus

petit, il y a des risques de casse et plus grand, les vis ne « Mordent » pas assez dans le bois (cf. photos 5 et 6).

Le tournevis cruciforme doit absolument être monté sur une perceuse à variateur électronique (ou une visseuse électrique débrayable) réglée au minimum et permettant un contrôle précis



du vissage afin de ne pas enfoncer trop vite les vis qui risquent de se casser (cas de la photo 5).

Pour une meilleure finition, il faut aussi noyer les têtes de vis en utilisant une mèche pourvue d'un alésoir à 120°. L'alésage doit être assez important pour que les vis n'affleurent plus. Le trou sera alors comblé lors de la finition par du mastic à bois et

poncé. On aura ainsi des caissons d'une bonne facture sans vis apparentes.

Pour la face amovible, les avant-trous seront percés de la même manière et les vis-harpons mises en place comme il a été déjà précisé.

La face amovible étant évidemment parfaitement ajustée avec le reste de l'enceinte, il n'est

pas du tout évident de la redémonter après l'avoir encastrée. Tout simplement par manque de prise. La solution à ce problème peut être trouvée par fixation de poignées amovibles ou non (question esthétique). Nous développerons ce sujet lors de la mise en place de cette face.

En marge de ce gros matériel, il faudra des limes, du papier de

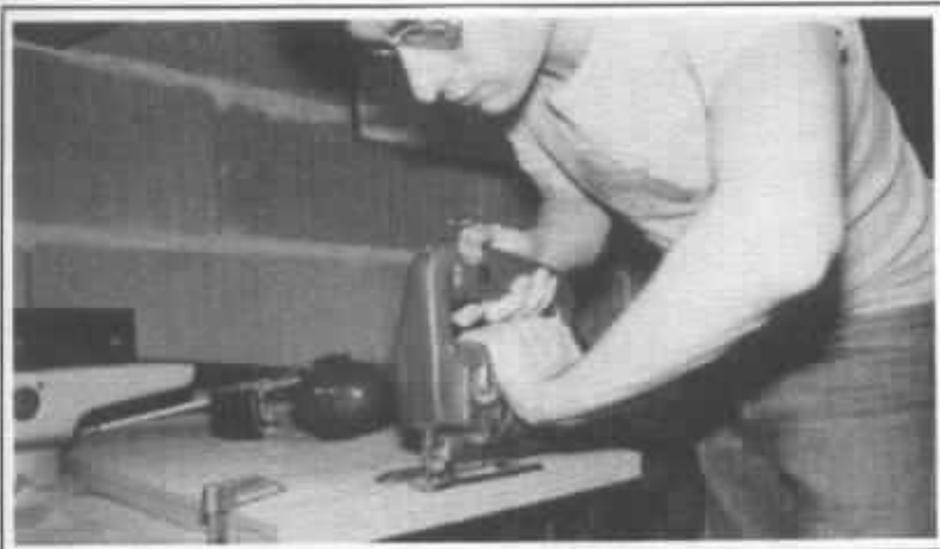


Photo 2 : Découpe d'un élément de filtre. Noter la présence d'un casque anti-bruit pour préserver ses oreilles d'audiophiles.

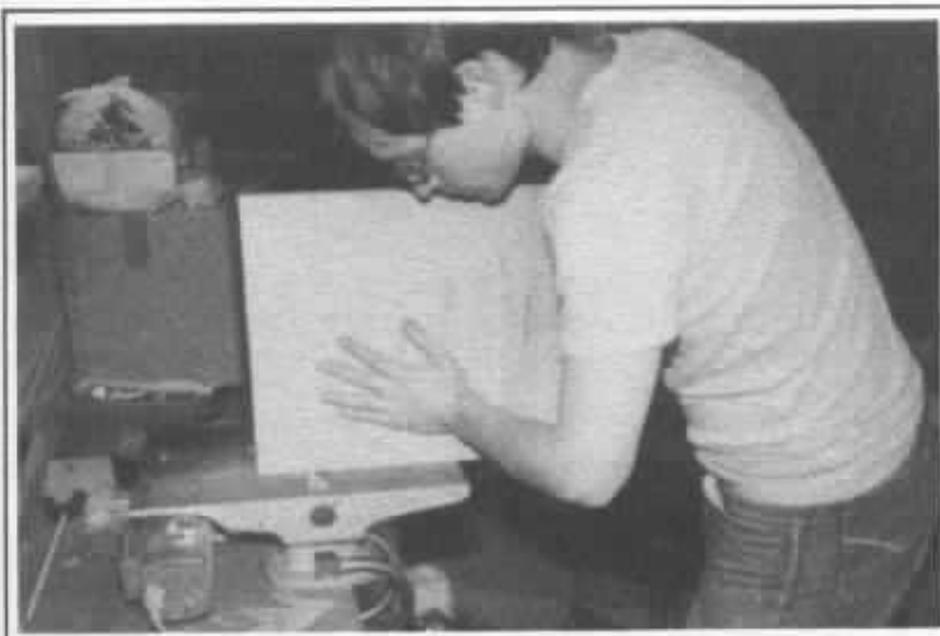


Photo 3 : Rectification à la dégauchisseuse. Toujours travailler lentement, sans oublier les consignes de sécurité avec ces appareils tournant très vite...

verre et une bonne ponceuse qui fera gagner du temps lors des finitions. Eventuellement, un rabot électrique sera utile pour rattraper les petites erreurs de coupe dont nous avons parlé. Une défonceuse tournant très vite (25 000 tr/mn) permet aussi certaines opérations de fraisage et d'encastrement souvent fort utiles.

Personnellement, n'ayant pas de rabot, j'ai monté une fraise sur un bloc moteur qui a effectué les dégrossissages pour les ajus-

tages. Les quelques dixièmes restant étant « finis » sans problème, manuellement.

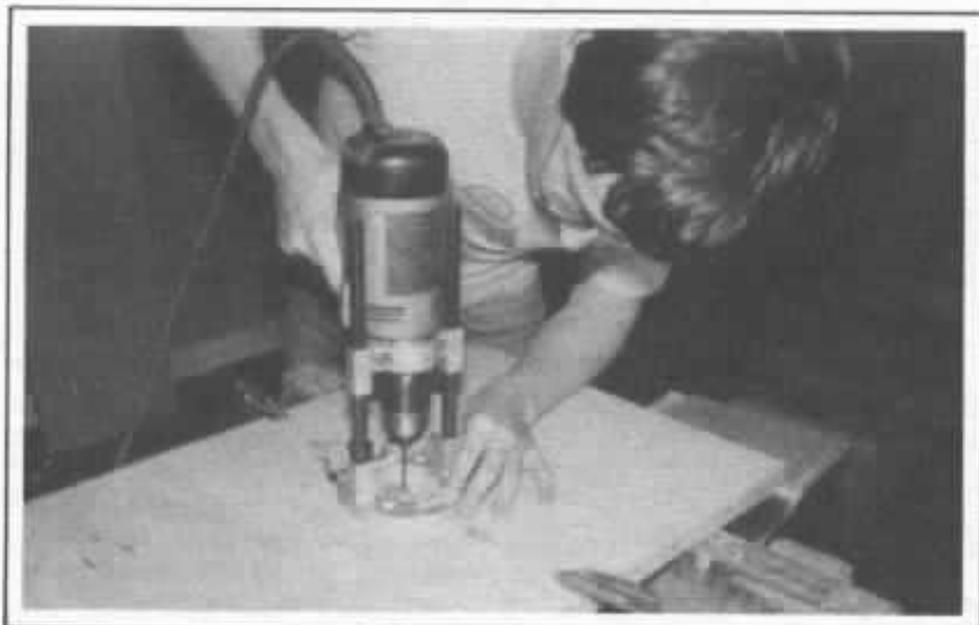
Encore et toujours à cause du bois, limer à la main ne serait-ce qu'un millimètre en trop sur la tranche d'une face devient vite un calvaire.

J'ai ainsi débuté, le cœur vaillant, l'égalisation d'un dessus qui dépassait très légèrement d'un des côtés : on y arrive, ça c'est un fait, mais avec les mains couvertes d'ampoules et les doigts en marmelade.

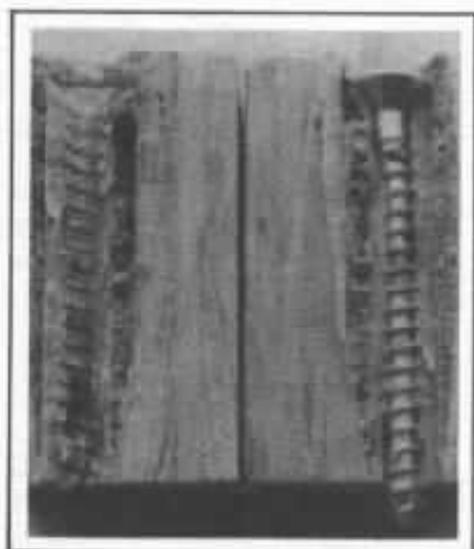
Pour assembler les panneaux, un autre élément indispensable est le serre-joints. Plus on en possède et mieux c'est... Il faut des serre-joints de taille respectable au vu des enceintes. J'ai pris des modèles à pompe de 125 cm. Avec quatre exemplaires, j'ai effectué tous les gros assemblages. Ce nombre est un minimum et m'a obligé bien des fois à serrer les ensembles par parties. Mais le prix de ces éléments est tel qu'on ne peut pas prétendre en acheter une douzaine... Sur une telle longueur, il ne faut pas regarder à l'économie et prendre les plus rigides (donc les plus chers !). Ils permettent un serrage très puissant qui implique d'utiliser des cales pour ne pas marquer les surfaces. Sinon pour l'assemblage des filtres, des tasseaux, des renforts... j'ai utilisé des modèles plus courants moyennant quelques astuces. J'ai aussi utilisé des serre-joints d'angles permettant des plaques à angle droit. Ces derniers sont en théorie idéaux, mais n'ont en pratique qu'un rôle de soutien car ils n'ont pas assez de prise, dans ce cas précis, pour prétendre assurer une pression suffisante à un assemblage correct.

Comme on le voit, si l'on a pris soin de tout faire découper d'avance, l'outillage nécessaire à la réalisation n'est pas exorbitant, mais devra être de très bonne qualité. D'abord pour la mise en place des éléments par l'intermédiaire des serre-joints, puis pour le vissage qui demande beaucoup d'attention. De par le nombre de vis, il est d'ailleurs conseillé de travailler avec trois machines : une pour faire les avant-trous, l'autre pour aléser et une troisième pour visser. Elles sont ainsi réglées pour chaque épisode et permettent de travailler en série, sans avoir à monter et redémonter lors d'un assemblage.

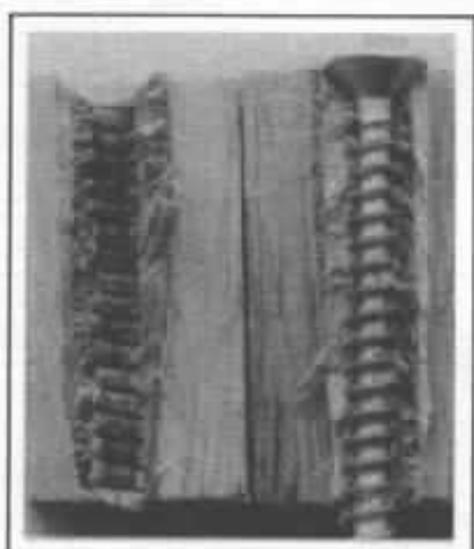
Enfin pour la finition, la qualité des outils est moins critique, mais la motorisation facilite



*Photo 4 : Percement des pré-trous. Le montage permet un travail précis, rapide et bien perpendiculaire. Noter aussi la possibilité du réglage de la profondeur de perçage.*



*Photo 5 : Vis 4 x 40 avec avant-trou de 0,3 mm. Remarquer, sur la moitié gauche, que la vis n'a pas mordu le bois très profondément. Noter aussi la vis cassée sous la tête, ceci étant dû à un vissage trop rapide...*



*Photo 6 : Vis 5 x 50 avec avant-trou de 0,3 mm. Là, par contre, l'empreinte est bien meilleure : on est assuré que la vis remplira bien sa fonction.*

grandement cette partie de la réalisation.

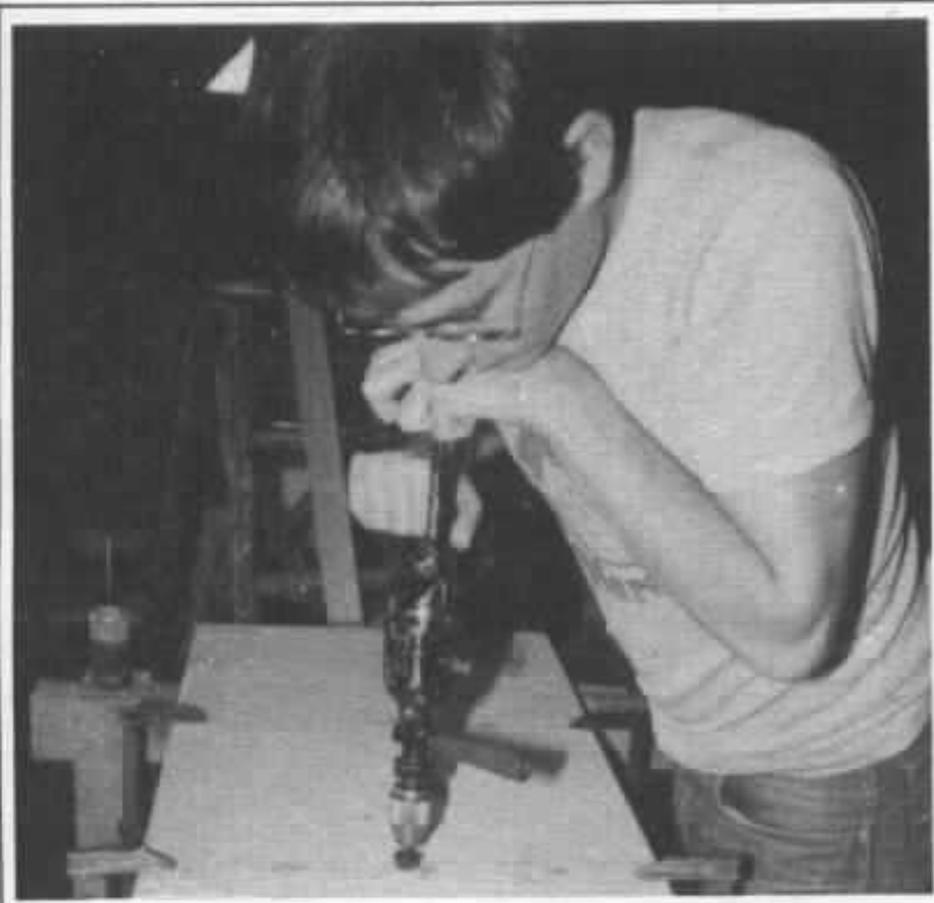
Muni de tous ces éléments, nous allons maintenant passer à la réalisation pratique point par point.

### **Montage des renforts sur les faces supérieure et inférieure.**

Ces dernières sont formées chacune d'une plaque de 800 x 550

et de deux renforts de 350 x 100. Comme il a été déjà précisé, la profondeur peut varier si le fond est en applique, mortaisé ou intégré. L'important est de respecter la profondeur interne de 525 mm depuis la surface antérieure de la face avant. Il est utile de tracer au crayon tous les emplacements des divers éléments (renforts, vis) afin d'aller

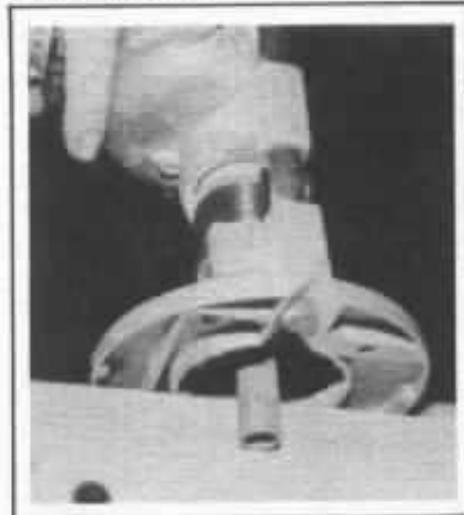
assez vite dès que les pièces sont encollées. Une fois en place et enduits de colle sur toute la surface en une très mince couche uniforme, les renforts sont stabilisés avec des serre-joints. Ceux-ci ne sont souvent pas assez longs au niveau des mors pour atteindre le centre des panneaux. Il faut alors utiliser des tasseaux de montage. Vient alors le vissage des renforts. Il existe, là aussi, un petit problème. Comme nous l'avons dit, les avant-trous sont importants et doivent être faits dans ce cas avec des mèches de 2 mm de diamètre (vis de 4 x 40). D'autre part la longueur de ce perçage doit être égal à la longueur de la vis soit ici 40 mm, or il est difficile de trouver des mèches de si faible diamètre permettant une telle longueur de pénétration. Les mèches ne sont alors enfoncées que de 10 mm dans les mors de la perceuse et de ce fait, assez fragilisées. Il faut donc faire attention de ne pas bouger quand on perce afin de ne pas entraîner un porte-à-faux cassant la mèche dans le trou. Ceci est d'autant plus critique que le bois est très dur et que chaque trou met à rude épreuve le matériel : il y a un échauffement assez important qui demande tous les deux ou trois trous d'enduire la mèche d'huile de forage. Une fois tous percés bien perpendiculaires, ces trous borgnes sont alors chanfreinés à l'aide de la fraise (cf. photo 7). La mise en place des vis est amorcée au tournevis. Avec la visseuse, il faut bien prendre le coup pour les enfoncer doucement, mais d'une seule traite. La vitesse de rotation du moteur est fondamentale : d'autre part, il faut tenir la perceuse bien perpendiculaire pour que la tête cruciforme morde bien la tête de vis. Enfoncer en appuyant sur la perceuse afin d'éviter au tournevis de déraper, ce qui abîme très vite la vis et la rend irrécupérable. Avec le Nantex et ce genre de vis, il ne faut pas compter sur



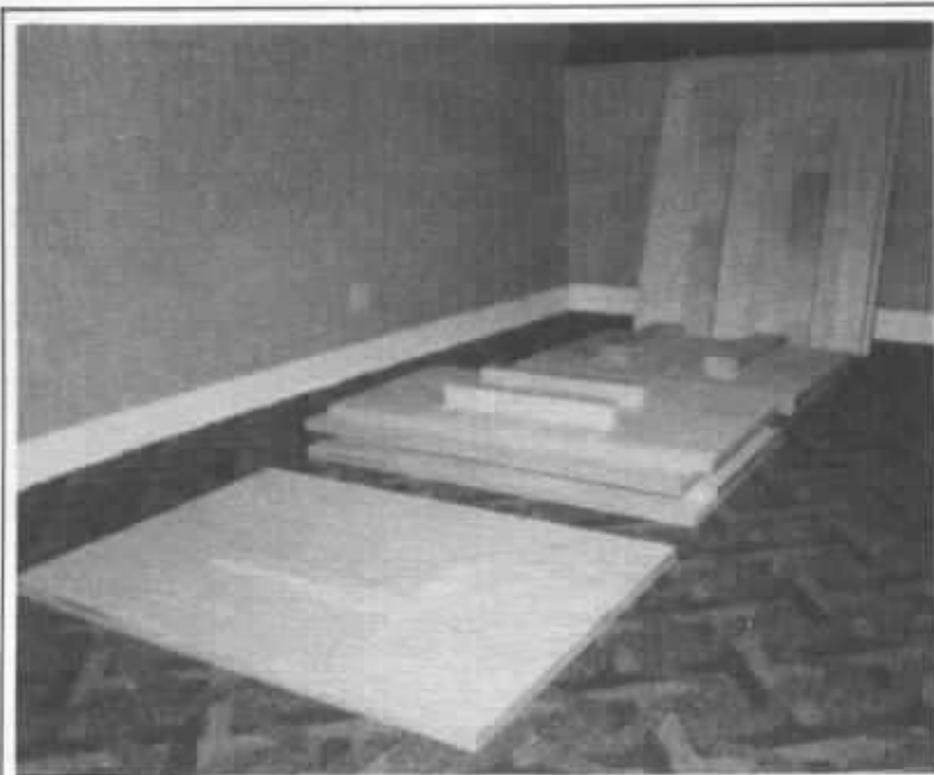
*Photo 7 : Alésage des avant-trous. Il peut s'effectuer facilement à la main si l'alésoir est bien affûté.*



*Photo 8 : Vissage à l'aide d'une perceuse à vitesse variant progressivement avec la pression du doigt sur la gachette. Tout le succès réside dans cette maîtrise !*



*Photo 9 : Ajustage avec une fraise. Ce matériel ne fait qu'un travail grossier et de ce fait doit être employé avec prudence. Il est en particulier difficile de faire des passes régulières...*



*Photo 10 : Repérage de tous les éléments constitutifs : le travail méthodique est important pour minimiser les risques d'erreurs.*

une grosse marge d'erreur : une vis mal enfoncée reste comme elle est, on ne rattrape pas ce genre de maladresse. Mais on a très vite fait d'acquiescer la méthode... D'autre part, les vis 5 x 50 sont beaucoup moins critiques, la prise est nettement plus sûre. Les serre-joints en place ne permettent pas toujours de planter toutes les vis en une seule fois. Ceci n'est pas grave. Il faut toujours s'arranger pour les placer de façon à pouvoir enfoncer

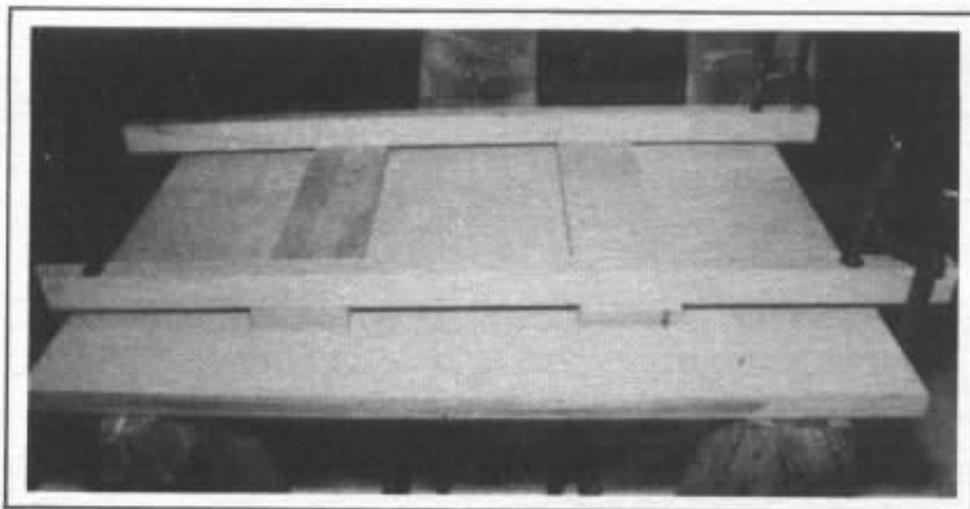
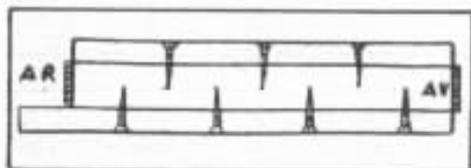


Photo 11 : Mise en place des renforts. A noter que lors du montage, il a été utilisé deux autres serre-joints au centre afin d'assurer une pression plus uniforme.

au minimum trois ou quatre vis fondamentales pour la tenue (extrémités et centre). Après on peut tranquillement visser le reste, la pièce étant déjà fortement ancrée.

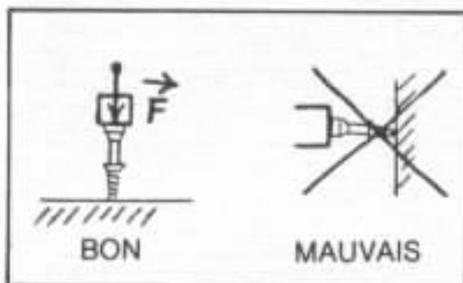
Ces quatre premiers éléments finis, on a déjà acquis une petite expérience avant d'attaquer des pièces plus complexes.

**Montage des filtres.** Constitués chacun d'une face externe de  $900 \times 550$  (pour la profondeur, même remarque que précédemment), d'une face interne de  $900 \times 405$ , reliées par deux tasseaux de  $405 \times 50$  coupant la hauteur en trois parties égales. La longueur des tasseaux peut être légèrement supérieure à 405 mm afin d'avoir une marge vers l'avant quand on assemble la face externe.

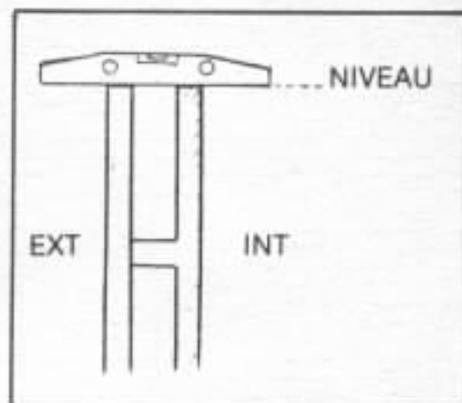


Les parties hachurées du schéma sont alors supprimées à la lime avant assemblage pour l'arrière et après pour l'avant. Là aussi, il faut tracer avec précision la position des tasseaux sur les faces internes. Il est plus logique de les fixer d'abord sur

celles-ci afin de pouvoir les rectifier facilement vers l'arrière avant le montage des faces externes.



des serre-joints, mais permet un meilleur appui, donc un travail plus sûr. Une fois fixés du côté interne, il s'agit de passer à l'assemblage du côté externe.



Celui-ci est plus délicat et doit être effectué avec précision, c'est-à-dire que les tranches externe et interne doivent être dans un même plan parallèle à une ligne de référence horizontale et ceci afin, comme nous l'avons déjà précisé, de s'ajuster parfaitement avec les dessus et dessous. Pour ce faire, le plus logique est de les mettre en place avec ces éléments (cf. photo 14), on est alors sûr du résultat. Une fois ce « montage à blanc » réa-

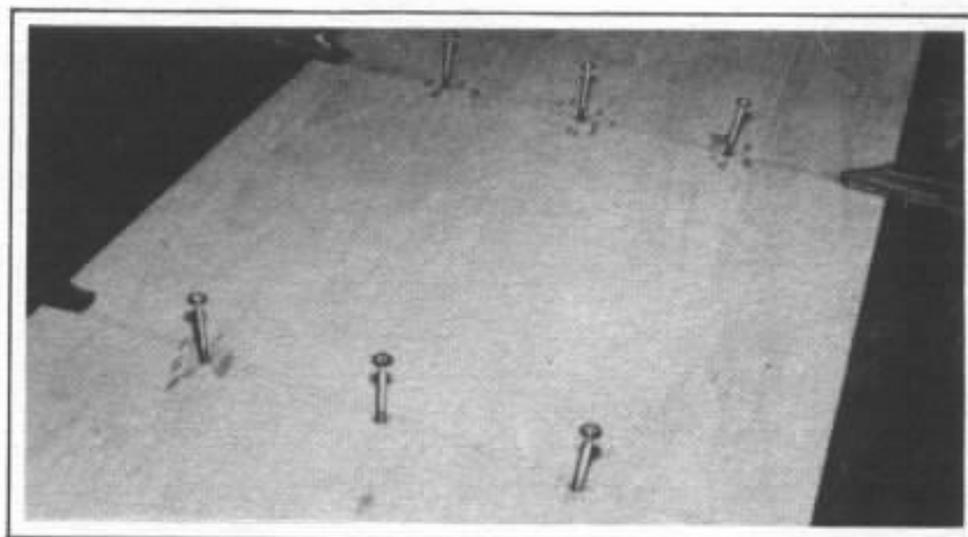


Photo 12 : Vissage des tasseaux sur les parois internes des filtres. Les taches sur le bois sont dues à l'huile de forage des mèches.

*Une remarque :* Pour visser les éléments, il est plus facile de le faire en travaillant verticalement. Ceci implique beaucoup de manipulations après fixation

lisé, bien tracer au crayon les positions exactes des tasseaux pour pointer l'emplacement des vis externes. Remarquer la position en quinconce des vis pour

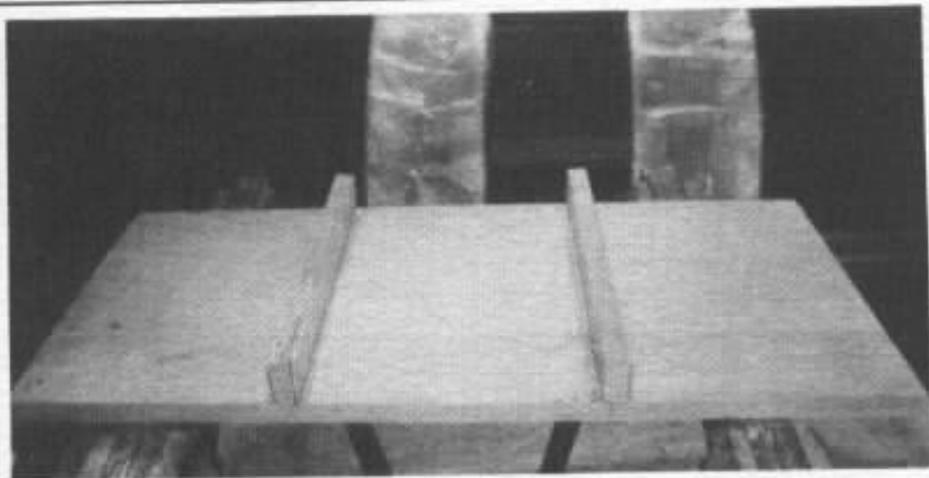


Photo 13 : Tasseaux fixés sur les faces internes. Remarquer la marge vers l'avant permettant un ajustage précis à la main après assemblage.

que nulle part elles ne se retrouvent en vis-à-vis (sans jeu de mots !). Ne pas oublier aussi d'encoller les divers éléments...

Il faut alors serrez à l'aide de serre-joints, les deux parties, enlever les dessus et dessous et mettre les filtres à l'horizontale pour les visser. Lors de ces ajustages, il ne faut pas être pressé car ils constituent le plus important du travail, un peu comme en soudure : une fois les deux pièces bien fixées et en parfaite concordance, il ne reste plus qu'à conclure avec le chalumeau pour braser. Ici, il faut donc toujours faire un premier montage pour voir ce qui nous attend et mettre à jour des problèmes techniques auxquels on n'avait pas pensé ! Ce n'est qu'une fois la « répétition » au point que l'on peut encoller, fixer et visser. C'est long, mais ça paye !

C'est alors que l'on rectifie la face avant des tasseaux à la lime pour qu'ils soient dans le même plan vertical que les parties antérieures du filtre. En passant le doigt sur les tranches, on ne doit pas avoir l'impression d'accrocher.

**Préparation des fonds.** Arrivé à ce niveau, on a déjà une bonne expérience du Nantex et de ses caprices ! Là, on est devant diverses solutions. La plus sim-

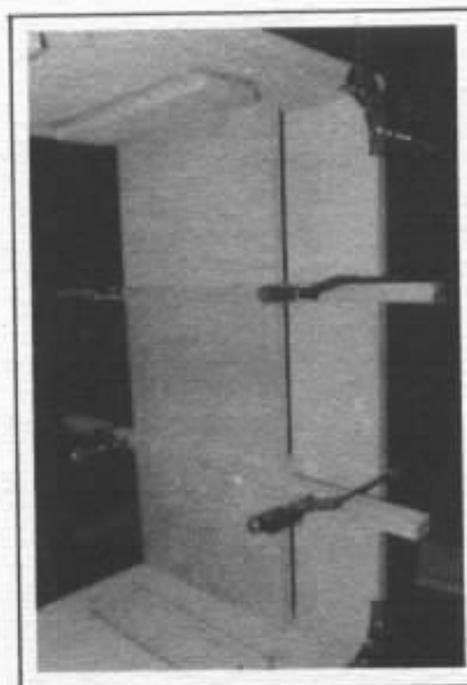


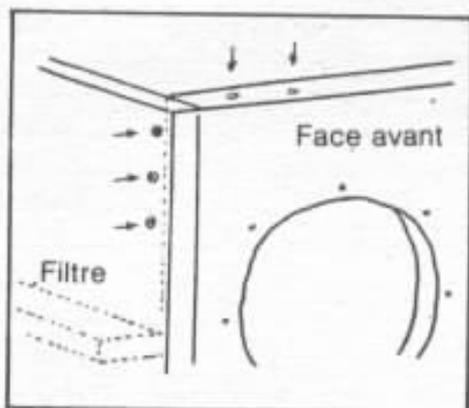
Photo 14 : Phase finale du montage des filtres (vue de l'arrière). Si l'on a pris soin de bien coupler les panneaux au début, tout doit s'encastrier sans problème.

ple est de n'utiliser qu'une plaque de Nantex qui peut être fixée en applique arrière (950 × 800 mm) ou encastrée (900 × 750 mm). En applique, les côtés feront donc 525 mm de profondeur et 550 en encastré. Dans ce cas, l'applique me paraît la plus simple à mettre en œuvre en ce qui concerne l'étanchéité et l'ajustage. Ce n'est cependant qu'une solution de facilité qui ne tranquillise pas les esprits puris-

tes que nous sommes tous. La deuxième solution, en n'utilisant qu'une plaque de 25 mm, est celle retenue dans le kit proposé par l'Audiophile : elle consiste à mortaiser sur la moitié de l'épaisseur le fond et les quatre côtés à l'arrière ; c'est moins facile à réaliser, mais c'est beaucoup plus propre et efficace au niveau de l'étanchéité. Le fond est ainsi moitié encastré, moitié en applique. Dans le cas du kit, le fond est la face amovible, ce qui justifie pleinement cette solution.

On peut soulever ce problème, dont nous avons déjà un peu parlé, qui réside dans le choix de la face amovible. Les « Onken » originales et les premières réalisations ont toujours utilisé un fond rigidement fixé aux quatre autres parois et une face avant amovible et vissée sur des tasseaux. C'est aussi ce que j'ai fait, mais ce n'est pas forcément la meilleure issue, car la face avant sur laquelle est fixée le HP doit être rigide et parfaitement étanche. Or ceci est plus facile à réaliser si celle-ci est solidement ancrée sur les filtres et les faces supérieure et inférieure en plantant un bon nombre de vis sur toutes les tranches de sa périphérie, quitte à améliorer encore le principe avec un petit tasseau interne collé aussi sur le périmètre.

Pour ce faire, la face avant, après avoir été préparée, sera alors fixée d'abord sur les faces internes des filtres avant le montage de ceux-ci. La fixation avec les faces supérieure et inférieure étant effectuée en une seule opération lors de l'assemblage de celles-ci avec les filtres, on accède par le fond au HP qui peut ainsi être facilement démonté et branché.



Une troisième solution, plus onéreuse, permet de rigidifier singulièrement le fond : l'utilisation de Nantex 50 ou 60 mm mortaisé à la moitié de l'épaisseur. On obtient donc, sans avoir à toucher aux côtés, deux épaisseurs de 25 mm permettant de planter les vis à 90° les unes des autres et en alternance sur le fond et les côtés (cf. plus loin). J'ai réalisé artificiellement cette face en collant et vissant très fort deux plaques de 25 mm (cf. photo 15).

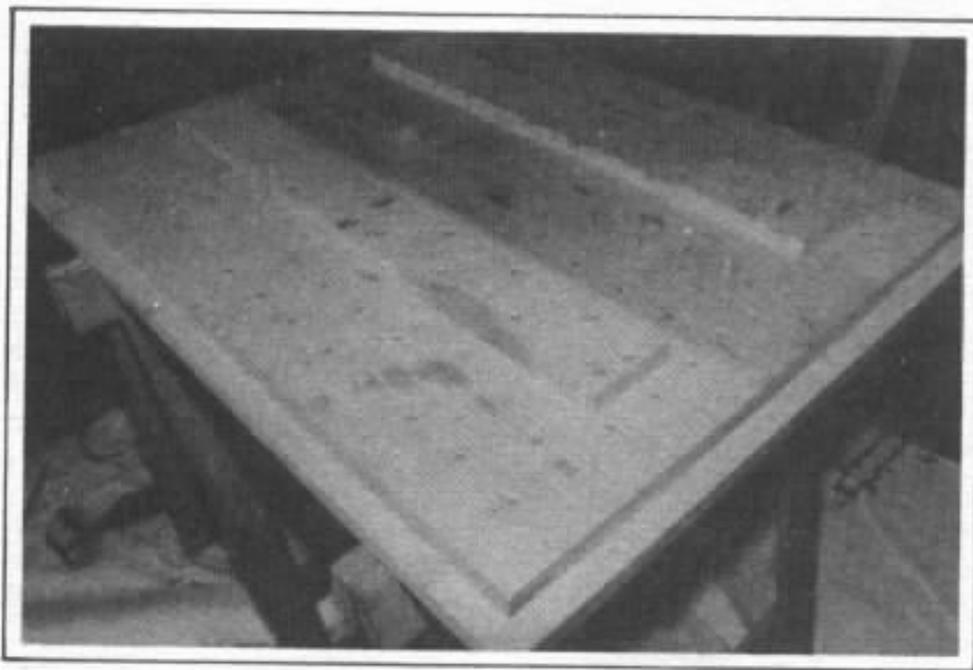


Photo 15 : Réalisation du double fond. Noter au milieu l'emplacement encasté du tasseau avant/arrière permettant une fixation quasi-parfaite de celui-ci.

On se rend compte de l'apport en frappant cette paroi ainsi obtenue avec le doigt. Au niveau des tasseaux de renforts fixés de

la même manière que précédemment (sauf pour la vis pouvant avoir 50 mm de long), on a alors 75 mm d'épaisseur. De plus, cette solution permet d'encasturer sur 25 mm, la tasseau avant/arrière dans le fond, d'où une parfaite tenue de celui-ci (cf. photos). Il faut aussi penser à percer le trou de passage du fil HP ou des bornes. Sur une telle épaisseur, il faut utiliser une mèche à métaux tournant assez vite et de diamètre 10 mm pour l'utilisation de câble de forte section (Magnat, Monster Cable...). Je l'ai percé juste au dessus du tasseau afin de faire cheminer le fil sur celui-ci.

A noter que la paroi sablée peut constituer une quatrième solution. C'est sûrement le moyen le plus sûr pour rigidifier une paroi de grande surface. Il faut utiliser du sable très fin et parfaitement sec. Je ferais une remarque à ceux qui seraient tentés de remplacer le sable par du ciment : c'est une grossière

erreur ! Tout simplement parce que le mariage bois-ciment n'a jamais donné quoi que ce soit d'acceptable. Le bois arrive tou-

jours par pourrir à cause de l'humidité et des moisissures inévitables. De plus, le ciment offre toujours un certain retrait lors de son séchage d'où suite de problèmes inextricables. Quand on doit utiliser conjointement bois et ciment pour la réalisation d'embases, de socles..., la liaison doit toujours être indirecte par l'intermédiaire de tiges filetées coulées dans le béton et vissées dans le bois.

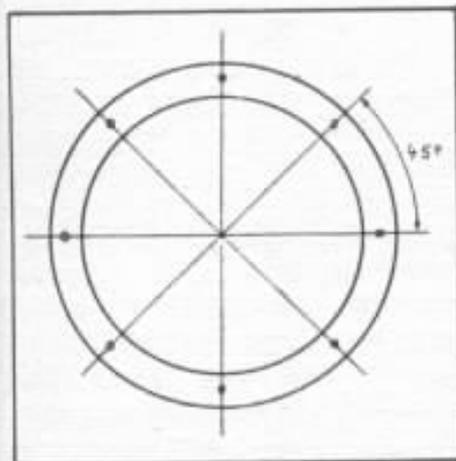
J'ai aussi entrevu auparavant le petit problème soulevé par le démontage de la face amovible une fois celle-ci en place. On manque en effet de prise pour la retirer si cela est nécessaire (modifications internes, changement de HP...). En fait, il n'y a qu'une solution : les poignées ! Encore faut-il les choisir ? Si le fond est amovible, elles se trouvent à l'arrière et ne nuiront nullement à l'esthétique pour peu qu'elles soient de la même couleur que la caisse et peu volumineuses. Sur la face avant, c'est évidemment plus critique : il y a possibilité d'en encasturer des petites qui se fondent dans l'ensemble sans choquer. L'autre possibilité est d'en trouver d'amovibles qui ne sont placées qu'au moment du démontage et retirées ensuite, ne laissant que la prise (tige filetée ou vis) peu visible. On peut aussi placer des petites gâches de serrures faisant office de prises pour un levier lors du démontage. C'est aussi assez discret et surtout peu onéreux !

*Une remarque :* Les tranches de la face amovible seront systématiquement paraffinées pour faciliter son introduction et son retrait.

### Préparation des faces avant.

Si la découpe n'a pas été effectuée, il faut d'abord tracer l'emplacement du trou HP en ayant soin, en plus du cercle de diamètre 340 mm, d'en tracer un deuxième concentrique de diamètre 410 mm. Celui-ci, après

découpe, permet de centrer plus facilement le HP en donnant un bon repère. Il faut aussi tracer avant toute découpe, les diamètres à  $\pi/4$  qui donneront les méridiens pour l'emplacement des vis de fixation.



Pour la découpe proprement dite, percer des trous à  $\pi/4$  pour le passage des lames de scie sauteuse (cf. photo 16). Ces dernières devront être spécialement adaptables pour les découpes circulaires (type Bosch T119 BO). Il est impératif d'aller très doucement car celle-ci est très délicate à la main. De plus, sous certains angles d'attaque, le Nantex peut s'écailler en surface. Il faut travailler avec une petite marge de sécurité qui sera finie à la main après avoir superposé les deux faces avant droite et gauche après découpe pour les rendre symétriques. Pour vérifier la finition de ces trous « presque circulaires », scier une petite baguette de longueur 340 mm et la faire tourner dans l'ouverture. Les extrémités doivent effleurer sur toutes les périphéries des deux trous, sinon rectifier les points de frottement à la lime demi-ronde. Terminer en ponçant au papier de verre. Fixer le renfort  $400 \times 150$  comme tous les autres.

A ce stade du montage, on a préparé tous les éléments rentrant dans la constitution des caissons, il s'agit maintenant de les assembler.

**Assemblage des filtres et faces supérieure et inférieure.** Là, ça se complique un peu. De nouveau, il faut effectuer une « mise en scène » de l'opération pour s'assurer que rien ne « cloche ».

Monter la face inférieure sur des poutrelles pour pouvoir passer des serre-joints dessous. Poser dessus les filtres et la face avant (qui, rappelons-le, peuvent déjà être solidaires si l'on a décidé de

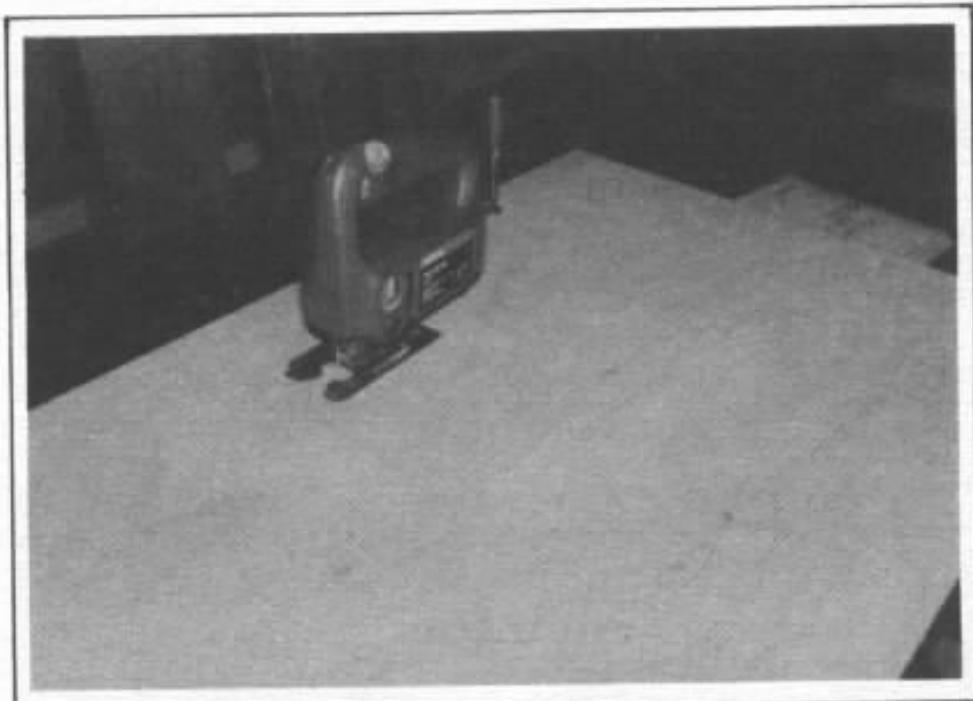


Photo 16 : Découpe du trou HP. La finesse de la lame et la dureté du bois implique un travail lent et régulier si l'on veut obtenir une bonne finition.

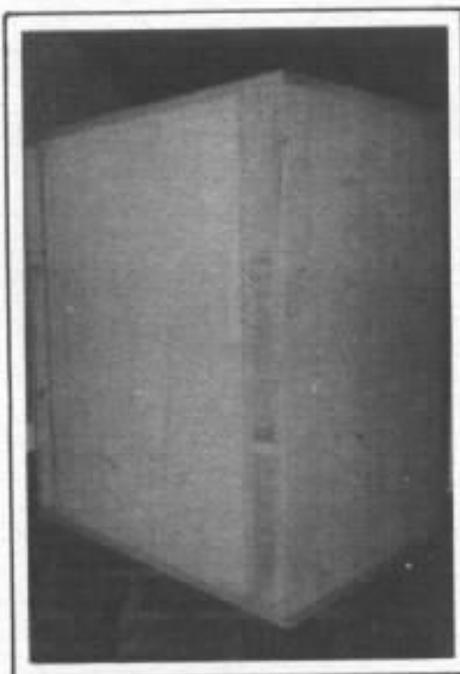
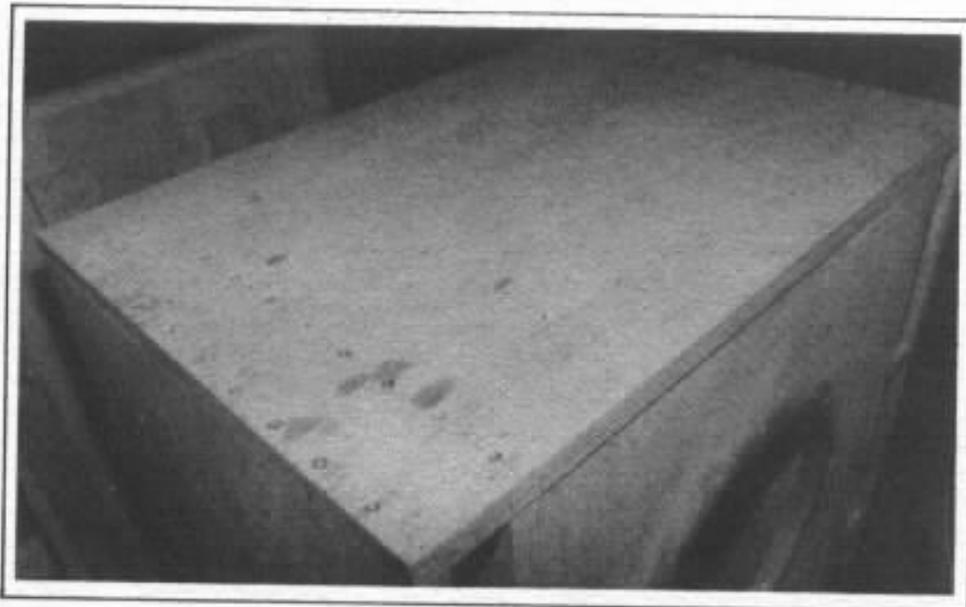


Photo 17 : Mise en place des différents éléments non assemblés. Ici, la face avant n'est pas percée afin de pouvoir au départ assurer le meilleur ajustage en essayant toutes les combinaisons.

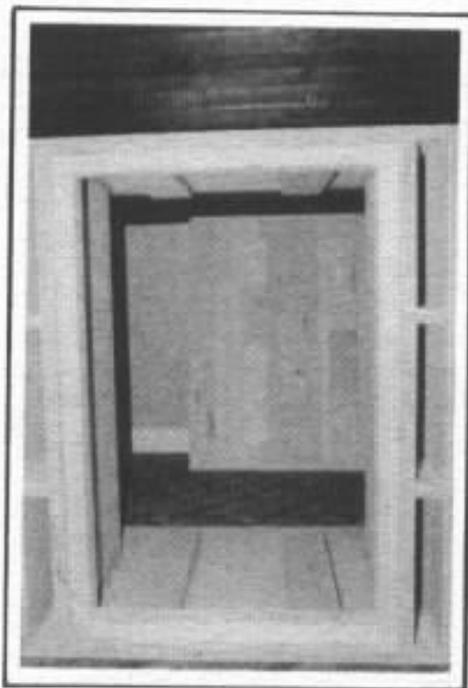


Photo 18 : Assemblage proprement dit. Noter l'emplacement des serre-joints pour le vissage des éléments externes des filtres. Le serre-joint transversal sera déplacé pour visser les éléments internes de façon à assurer un ajustage parfait.



*Photo 19 : Vissage terminé. Les petites imperfections d'ajustage seront toutes rectifiées à la main.*

faire des fonds amovibles) pour la face supérieure. S'assurer que les tranches des filtres (en particulier internes) reposent bien à plat sur toutes leurs surfaces, sinon rectifier les imperfections de planités à la main. Présenter le fond pour l'ajuster au plus serré et prévoir l'emplacement de tous les serre-joints qui seront placés judicieusement afin de ne pas gêner le vissage et sa préparation tout en assurant un serrage uniforme. Une fois que tout est au point, redémonter et encoller les tranches supérieures des filtres (éventuellement de la face avant) et fixer solidement pour le visser efficacement (photo 19). Cette opération est très importante, car un mauvais assemblage à ce niveau peut entraîner par la suite des vibrations du caisson qui seront alors très difficiles à enrayer. Redémonter les serre-joints et retourner « délicatement » l'ensemble pour effectuer la même opération avec le dessous. C'est à ce moment de la « bagarre » que l'on prend conscience de la densité du Nantex ! Ceci étant fait et bien fait, on peut déjà être fier de son œuvre car nos « bébés » prennent forme ! On peut alors souffler un peu en effectuant un



*Photo 20 : Tasseaux pour la fixation d'une face avant amovible. Leur section doit tenir compte de la mise en place des crampons 6 x 62 : ici, il faut au minimum 40 mm en profondeur et 30 mm en largeur pour l'expansion du harpon.*

petit travail indispensable dans le cas d'un fond fixe. Il consiste à peindre (de la couleur de son choix !) l'intérieur des filtres le temps qu'ils sont encore accessibles par l'arrière, sinon l'étroitesse rend difficile le badigeonnage des fonds par l'avant.

**Tasseaux de fixation de la face amovible.** Ceux-ci sont indispensables pour fixer la face avant, mais le sont plus ou moins pour le fond surtout si celui-ci est mortaisé. En fait, ces tasseaux peuvent très bien être taillés dans les surplus de Nantex, mais je n'ai pas retenu cette solution à cause des crampons qui demandent quand même un bois plus tendre pour pouvoir prendre leur maximum d'expansion dans le support fixe lors de leur première mise en place. Le problème des tasseaux, en bois non composite du marché est qu'ils sont, pour la plupart, gauchis et doivent donc être choisis avec soin. Ceux en bois exotique sont plus chers mais moins sujets à ce phénomène.

L'emplacement des vis sera bien calculé pour l'association avec les crampons. La difficulté, dans ce cas qui intéresse la face avant, est que celle-ci doit être parfaitement alignée avec les tranches antérieures des filtres, dessus et dessous. La fixation des tasseaux conditionne cet alignement et doit être fait avec le maximum de précision. Un morceau de Nantex peut servir de jauge de profondeur en le laissant « courir » sur la périphérie des tasseaux, en s'assurant que tout est ajusté et ne dépasse pas. Sinon l'encollage et le vissage sont faciles et sans problème.

**Fixation de la face non amovible.** Pour la face avant, nous avons vu qu'elle devait se faire bien avant. Le tasseau de rigidification entre l'avant et l'arrière doit être fixé à cette face au même moment. Dans mon cas, je l'ai fixé sur le fond, collé, encastré et vissé par une seule vis de 5 x 50. Noter que ce tasseau doit être enfoncé très perpendiculaire pour arriver le plus précisément possible sur l'emplacement de la face opposée réservée à son égard. Il faut alors s'assurer que le fond s'ajuste bien sur les



Photo 21 : Fixation du fond. Remarquer la position en quinconce et perpendiculaire des vis.

quatre côtés ce qui n'est pas du tout évident au vu de la précision des découpes. Pour ma part, j'ai dû rectifier cette planéité postérieure afin d'avoir le maximum de contact et d'étanchéité. Il faut aussi préparer tous les tracés pour visser, car une fois que l'on a encollé sur tout le pourtour, il ne faut pas perdre de temps. Toujours pour travailler à l'horizontale, le caisson est couché face avant contre terre. Mes fonds pesant plus de 30 kgf, je dois dire qu'une fois plein de colle, c'est une partie de plaisir pour les rentrer dans le caisson. D'autant plus qu'étant très ajusté, il ne s'agit pas de rentrer un bord à fond, car l'opposé ne rentre plus. L'ensemble doit entrer bien parallèlement sur les autres côtés simultanément !

Ensuite, on place les serre-joints et l'on visse progressivement la première série de vis dans le fond. Pour visser la deuxième série perpendiculaire dans les côtés (cf. photo 21), il faut redresser le caisson et le coucher successivement sur les quatre côtés (à ce moment précis, il pèse 84 kgf !). Là aussi, la fixation est très importante et ne supporte pas de faiblesse. Le fond (ou la face avant) doit véritablement faire corps avec le reste.

### Fixation de la face amovible.

Nous avons déjà précisé que celle-ci doit être parfaitement ajustée afin d'assurer le maximum d'étanchéité et de rigidité. Une fois mise en place avec un maillet en bois, on doit bien repérer l'emplacement du tasseau avant/arrière au crayon, en traçant son périmètre sur la face postérieure par le trou HP. S'assurer aussi de sa bonne adhérence sur toute sa surface. Une fois la paroi retirée, il suffit de marquer les diagonales et de percer à leur croisement un petit trou bien perpendiculaire qui, sur la face antérieure, indiquera le point exact de percement du crampon. On est ainsi assuré de



Photo 22 : Fond fixé. Remarquer le tasseau avant/arrière encastré de 25 mm dans le fond et bien perpendiculaire.

ne pas « taper à côté ». On serrera l'ensemble pour fixer les vis-harpon comme nous l'avons dit. Rappelons que le trou fait la longueur du harpon (ici 62 mm) et qu'il est esthétiquement conseillé d'encastrer les têtes avec une fraise sur 5 mm (cf. photo 24). Le petit cache plastique sera alors collé dans ce trou. Les vis s'enfoncent aussi avec un maillet assez facilement, mais avec cependant une petite résistance afin que l'écrou morde bien. Il suffit alors de serrer avec une clé hexagonale de quatre à environ sept tours (pas trop, afin de ne

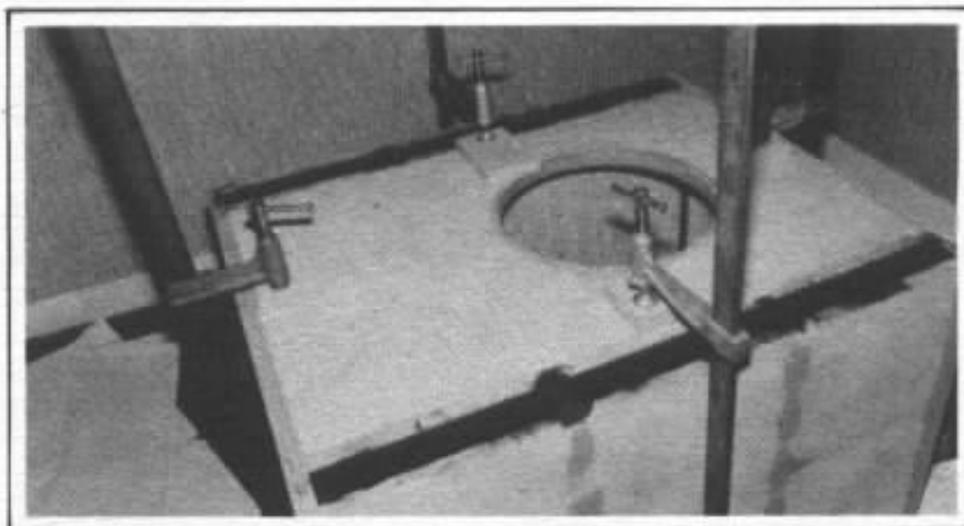


Photo 23 : Mise en place de la face avant. Pour des serrages intéressant une telle surface, quatre serre-joints sont vraiment le minimum.

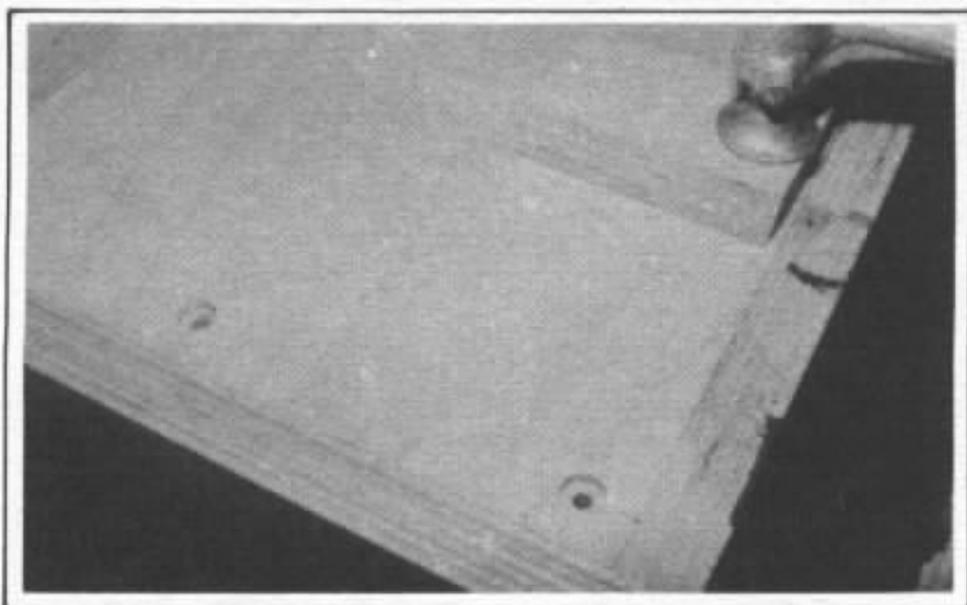


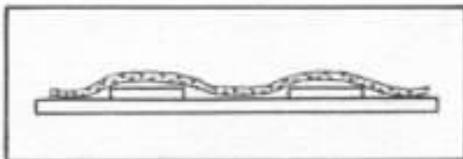
Photo 24 : Percement des avant-trous destinés à recevoir les harpons. La profondeur de perce doit être parfaitement réglée pour que tout affleure.

pas éclater les tasseaux). A propos des clés six pans, il faut en prévoir une en acier, car celle fournie est vraiment de mauvaise qualité. Une fois tout fixé, on peut enlever les serre-joints et figner éventuellement les ajustages. Il faut alors redévisser chaque harpon en les rangeant dans l'ordre afin d'éviter les petites différences au niveau des percements et filetages et retirer les faces avant. A ce niveau, on peut prévoir la fixation éventuelle du rideau en plaçant des petits pitons au tiers postérieur de la face supérieure. On pourra ainsi mettre et enlever ces rideaux sans aucun problème. D'autre part, on peut aussi déjà penser au câblage. Il est simple de le faire cheminer le long du tasseau. Pour ce faire, j'ai serré autour de ce dernier deux colliers dans lesquels passeront le fil et qui, de plus, le rigidifie et l'empêche de se fendre. Le tout pourra alors être recouvert du feutre dont nous allons parler de suite. Personnellement, j'ai tout noyé dans le blackson.

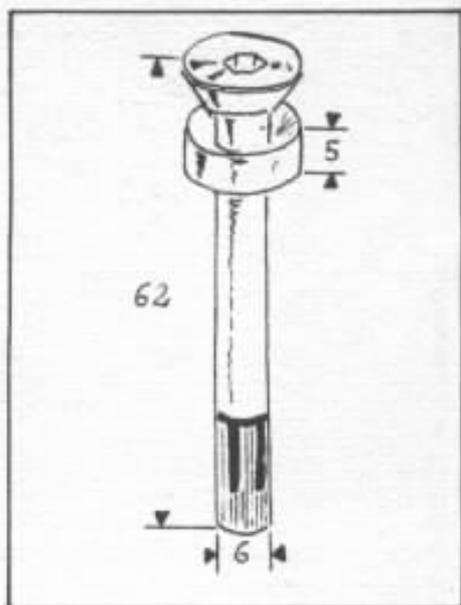
### Découpe et collage du feutre.

Face à son rouleau d'UJS 10, il faut d'abord réfléchir avant de le couper, pour ne rien gaspiller.

Le mien m'a été livré en largeur environ 1,87 m, mais je ne sais pas si ceci constitue une généralité ? Cette dimension correspond à environ  $2 \times 0,9$  m, soit les hauteurs des filtres-fonds et retours. On trace ensuite les dessus et dessous, puis les faces avant. Avec les chutes, on peut aisément recouvrir les tasseaux et il doit normalement rester largement de quoi découper les rideaux. En ce qui concerne la découpe, elle est rendue difficile par l'épaisseur et la relative mollesse de ce feutre. Après avoir tout prétracé à la craie, j'ai utilisé une forte lame très aiguisée et une longue règle. Une fois entamée sur la moitié de l'épaisseur, on termine au ciseau de tapissier qui permet une découpe beaucoup moins hachée que la lame. Je n'ai pas, non plus, recouvert les renforts sous de grandes surfaces selon ce schéma.



J'ai préféré tout ajuster pour une meilleure finition et une meilleure tenue du feutre qui, sur



cette épaisseur, ne se plie pas si facilement. A propos de tenue, le point important de cette opération est le collage. Je ne conseille pas d'utiliser la colle à bois qui est beaucoup trop liquide, ce qui a plusieurs désavantages.

Primo, le feutre étant lourd et la prise n'étant pas instantanée, il se décolle par le fait de son poids. Secundo, une colle trop fluide pénètre dans le feutre qui la « boit » ce qui, d'une part, le détériore et d'autre part, nuit à



Photo 25 : Collage du feutre. Ne pas oublier de marquer le trou pour le passage du fil (point blanc sur le fond).

l'adhérence une fois sec. J'ai, par contre, eu toute satisfaction avec la colle servant à enduire les plaques de liège mural. C'est une colle pâteuse, de couleur marron foncé, de prise assez rapide et qui par cette consistance est bien adaptée à l'encollage des panneaux lourds, maintenus à la verticale. D'autre part, cette colle reste en surface et assure un collage très résistant (j'ai fait divers essais sur des chutes qu'il est impossible ensuite de recoller sans les déchirer). Cette colle n'est, certes, pas l'unique solution ; il existe des colles spéciales tissus et des Néoprènes qui feront sans doute aussi l'affaire.

La face avant sera faite en dernier après avoir fixé les HP. Pour les rideaux, après avoir demandé des conseils à M. Chrétien, il est recommandé de les mettre dans la grande majorité des cas pour obtenir un grave moins sec et plus vrai. Ceci est net sur l'orgue par exemple.

Il est à noter que ces rideaux n'utilisent pas la totalité de l'épaisseur du feutre. Les plaques sont dédoublées pour avoir environ 5 mm. L'UJS étant feuilleté, cette opération ne présente aucune difficulté. Ces rideaux plus souples devront aussi le rester lors de leur fixation soit par agrafes, soit par pitons (solution amovible) sur le dessus. Ils ne devront pas toucher les filtres et le fond (environ 10 mm de marge) afin de rester « flottant » (cf. photo 26). Dans cette optique, le tasseau avant/arrière passera aussi dans une ouverture découpée assez large.

#### Fixation du haut-parleur.

Il est d'abord important de s'assurer de l'absence de gros défauts sur les Altec avant de les monter. Sur des modèles de ce prix, les défauts de fabrication sont rares mais peuvent être inhérents à un choc lors du trans-

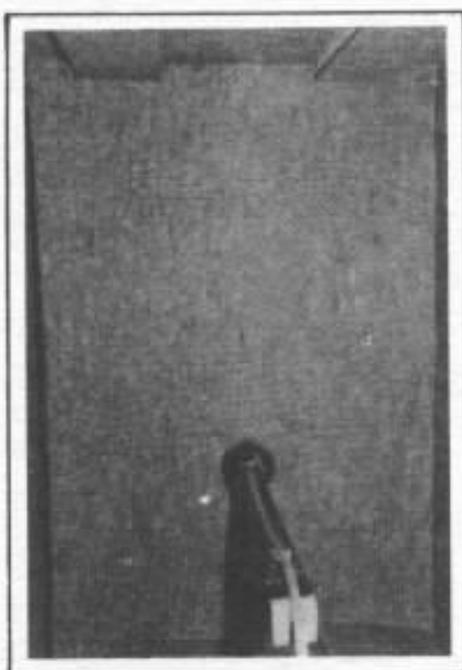


Photo 26 : Fixation du rideau. Remarquer la relative liberté de celui-ci qui reste flottant sans toucher les parois.

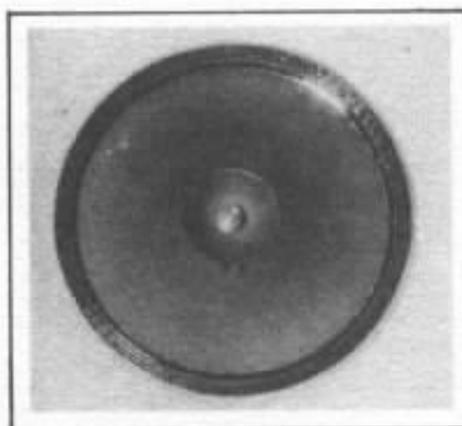
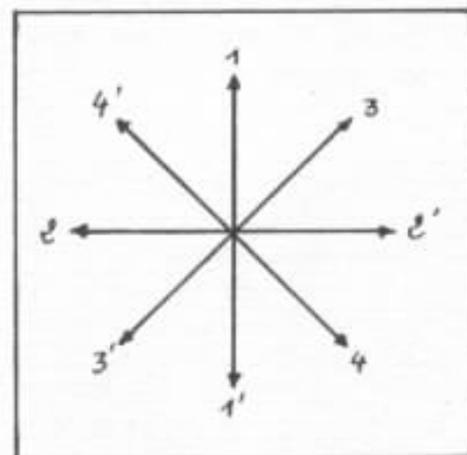


Photo 27 : Centrage du HP. Après avoir dégrossi avec le cercle interne (cf. photo 16), on utilise les reliefs concentriques de la suspension.



Photo 28 : Fixation du HP. Le serrage doit être efficace et très uniforme.

port ou une petite bavure (colle-limaille...) dans l'entrefer entraînant un frottement ou un décentrement de la bobine. Pour s'en apercevoir, il suffit de prêter l'oreille quand on déplace « doucement » la membrane en appuyant uniformément au centre. Une solution plus élégante et surtout beaucoup plus sûre consiste à appliquer aux bornes une fréquence très basse (2 à 10 Hz) à l'aide d'un générateur BF ; le moindre frottement se ressent immédiatement. Après cette petite vérification, poser les faces avant à l'horizontale sur des chevalets et percer les huit trous pour les vis de diamètre 6 mm. Les tiges filetées doivent juste passer. Centrer le HP (photo 27). A noter que la tranche circulaire des faces avant aura intérêt à être finie (peinture ou placage) avant le montage du HP pour des raisons évidentes de sécurité des membranes ! On peut alors mettre les rondelles et



serrer les écrous. Aller lentement en les serrant toujours deux par deux en opposé. Ceci avait déjà été précisé par M. Hiraga : l'entrefer étant très étroit, un décentrement dû à un serrage non symétrique est toujours possible. Pour cela, l'utilisation du même générateur BF est un élément de détection infailible. Les premiers tours seront donc serrés avec une clé par l'arrière. Pour les derniers, bien maintenir la vis



*Photo 29 : Joint silicone pour étanchéifier le HP. Il doit être bien régulier et pénétrer dans tous les espaces sans faille.*

à l'avant pour ne pas qu'elle tourne (attention aux membranes !) et abîme le joint caoutchouc du saladier.

Après avoir serré par les huit vis, il est intéressant de parfaire l'étanchéité avec un joint silicone appliqué au pistolet sur toute la périphérie. Il assure une étanchéité parfaite et de plus renforce l'action des vis. J'ai fait



*Photo 30 : Collage du feutre sur la face avant. Bien laisser l'espace suffisant aux tasseaux.*

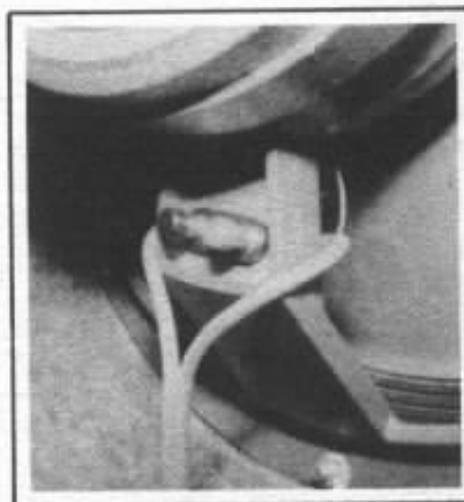
l'expérience de redresser les huit écrous après séchage du joint (minimum 24 h) : le HP n'a pas bougé pour autant, même en mettant la face verticale et en tirant dessus !...

Les HP fixés, on peut alors finir de coller le feutre et s'occuper du câblage qui ne pose pas de problème particulier. Certaines réalisations utilisent un bornier fixé sur la face arrière. Si l'on n'est pas amené à déplacer fréquemment ces caissons, je ne vois pas l'intérêt, si ce n'est esthétique, de multiplier les difficultés et ce qui est plus grave, les contacts. J'ai donc utilisé la solution la plus simple qui consiste à souder directement aux bornes HP, la longueur de câble nécessaire pour le relier à l'ampli ou au filtre (attention aux oppositions de phase !). Il faut prévoir le percement du feutre à l'endroit du trou percé lors de la préparation du fond. Une fois passé, on pourra parfaire l'étanchéité avec du mastic ou du joint. Prévoir aussi une petite boucle de fil au niveau du HP afin de ne provoquer aucune traction lors du retrait de la face amovible. Replacer alors la face amovible sur les caissons et passer aux finitions.

A ce niveau, on peut aussi prévieillir les HP. Les Altec neufs sont, en effet, assez raides et ne donnent pas des résultats probants au début. Le prévieillissement n'est pas quelque chose de particulièrement drôle, mais il permet de « dégrossir » et facilite plus tard les réglages par stabilisation physique des haut-parleurs. Pour ce faire, il faut un générateur BF de qualité branché à un ampli de puissance. Je n'ai rien innové et j'ai suivi les conseils de M. Hiraga, soit : 25 Hz pendant cinq heures, 110 Hz pendant deux heures et 3 000 Hz pendant une heure. Ceci étant répété quatre fois de suite, soit 40 heures de vieillissement par HP sous 0,6 W (environ 2,18 V

aux bornes du HP). C'est donc assez long et de plus pénible. Pour le 25 Hz, tout se passe très bien à part peut-être un trouble physiologique à la longue si l'on reste dans la pièce. A partir du 110 Hz, cela se gâte un peu : pour résumer, je ne vous citerai qu'une réflexion de ma chère maman, qui n'a jamais rien compris aux élucubrations holoacoustiques de son rejeton et qui, inquiète, m'a demandé : « Mais, ça fera ça tout le temps ?... ». Bon, je passe...

Pour les 1 000 et 3 000 Hz, alors là, il est conseillé de mettre les enceintes face à face branchées en opposition de phase afin de minimiser la torture !



*Photo 31 : Câblage du HP. Faire attention que le câble n'entrave en aucun cas les fils propres du HP qui doivent rester très souples pour assurer son débattement naturel.*

## Finitions

Il y a plusieurs solutions pour rendre ses caissons agréables à regarder : laisser le tout brut (le plus simple !), peindre ou plaquer. En ce qui concerne la première solution, celle-ci n'est possible que dans le cas où le bois n'a pas de défaut externe (surfaces et tranches) et que les vis affleurent toutes en surface sans problème. Dans ce cas, un simple ponçage suffit : l'esthétique n'est pas déplaisante car le Nantex a un aspect de surface fort acceptable.



Photo 32 : Matériel pour le vieillissement des haut-parleurs. Noter sur la face avant la présence des petites poignées qui, ici, sont très visibles mais se sont fondues dans l'ensemble après les finitions.

La peinture est aussi simple à mettre en œuvre. Avant, il faut bien rattraper tous les petits défauts, car il ne faut pas compter sur la peinture pour les masquer.

Pour ce qui est du mastic, j'ai utilisé du « Solibois » pour les vis et récupérer les éclats de surface et les trous sur les tranches. Celui-ci est un bi-composant : résine + bois en poudre à mélanger en parties pondérales 80/100, ce qui donne un mélange assez liquide, dont la prise est très rapide. Il ne faut donc en faire qu'une cuillère à café à chaque fois ! Son prix est aussi élevé mais par contre les résultats sont très bons : une fois durci, il peut être travaillé comme du bois. Il faut alors tout limé et poncé

pour égaliser les surfaces. Ayant opté pour cette solution, j'ai utilisé en sous-couche une peinture très dense au plomb qui rend le bois hydrophobe. J'ai ensuite passé deux couches de finition en noir mat à l'aide de peinture pour tableaux et tables de ping-pong. Celle-ci devient en effet très dure et se passe relativement bien. Evidemment, elle ne se fait qu'en noir et vert ! Rien ne vous empêche de peindre vos caissons couleur « fraise » ou « canari » !

La dernière solution est peut-être la plus élégante, mais aussi la plus onéreuse et la plus difficile à réaliser. Les placages du commerce se présentent de diverses façons. Pour les bois ordinai-

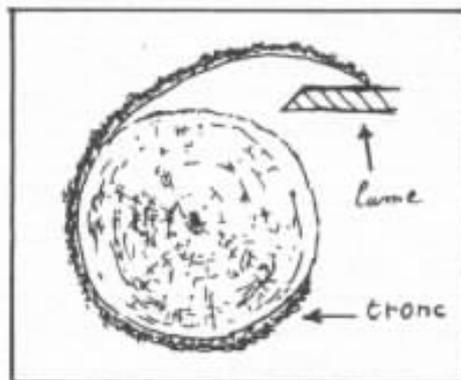
res, les placages sont découpés tout autour du tronc et enroulés. Pour les bois précieux, les placages sont réalisés par découpe de feuilles de diverses épaisseurs.

Cette solution donne les meilleurs placages mais du fait de la perte, revient très cher. Un dérivé consiste à couper les tranches non plus à la scie mais à la lame. L'épaisseur est alors plus fine. Les qualités sont nombreuses : acajou, chêne, érable, noyer, bois exotiques... Les épaisseurs varient de quelques dixièmes à 4 mm. Le gros problème pour un amateur est le placage régulier sur de grandes surfaces. On trouve dans le commerce des placages que l'on pose par repassage (colle fondant à la chaleur du fer). Sinon, il faut encoller à la colle blanche mais ceci implique d'avoir une presse hydraulique de grande surface !

Il faut d'abord découper très précisément tous les panneaux (fixés à l'aide de serre-joints) avec une lame bien aiguisée ou une scie à placage (pour les épaisseurs plus importantes).

Après encollage, chaque joint sera recouvert de « papier à joint » adhésif qui maintient les plaques pendant le collage.

L'amateur peut alors se faire des plaques de pressage maintenues par serre-joints. Ceux-ci appliqueront leur pression au maximum sur le centre afin d'éviter les bulles (comme en tapisserie) et chasser la colle sur les bords. Il est aussi élégant de plaquer les angles à 45°.



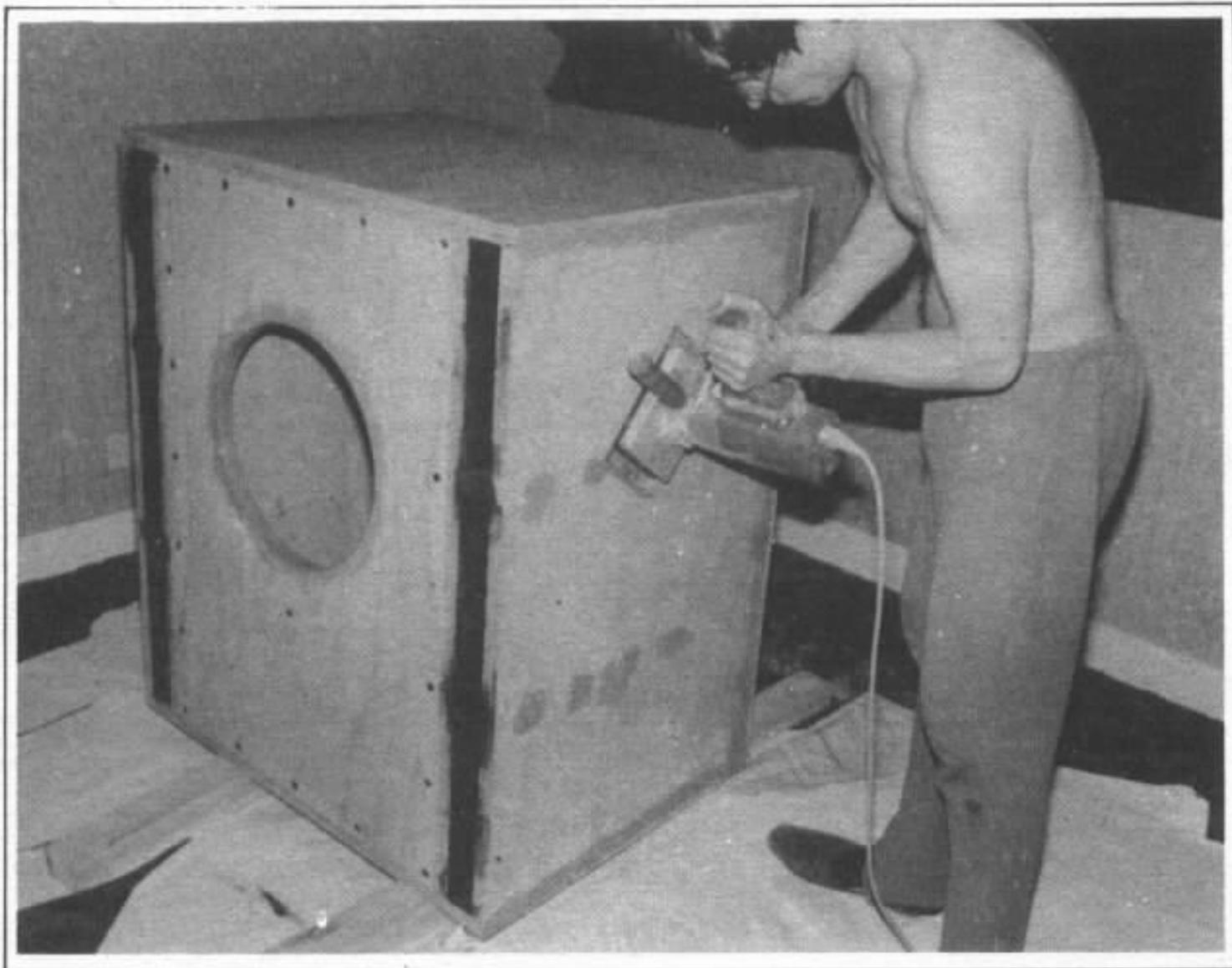
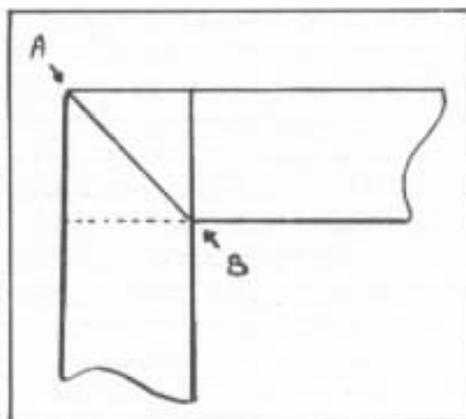


Photo 33 : Ponçage pour les finitions. Toutes les têtes de vis sont mastiquées avant la peinture ou le placage.

Pour ça, on superpose les deux feuilles à  $90^\circ$  et à l'aide d'une équerre  $45^\circ$  on coupe selon la bissectrice. Finir les bords au papier de verre fin très soigneusement.

### Conclusion

Nous voici arrivés au terme de cette réalisation. En fait, toute cette construction peut très bien s'appliquer dans sa méthode à n'importe quel caisson, qu'il soit plus petit (Little Onken) ou plus gros (enceinte extrême-grave à pavillon). Pour des réalisations plus importantes, l'écueil principal deviendra le poids prohibitif de l'enceinte car plus les parois sont grandes et plus elles doivent



être rigidifiées par des tasseaux de renfort, sablage...

Je reviendrai sûrement, dans un prochain article, sur l'intégration de ces caissons dans l'ensemble de la chaîne, avec les diverses solutions, leurs évolu-

tions possibles, les réglages liés aux problèmes d'acoustique et d'isolation du local, ainsi que sur des petits détails auxquels on n'attache peut-être pas assez d'importance comme l'esthétique, l'aménagement de l'auditorium ou l'éclairage de celui-ci avant et pendant l'écoute ; car n'oublions pas que lorsque l'on superpose les courbes de sensibilité de l'oreille en fonction de la fréquence et de la sensibilité de l'œil en fonction de la longueur d'onde, on est frappé par leur similitude... mais ceci est une autre histoire.

\* \* \*

# Qualité des filtres répartiteurs de fréquences

## 3 — optimisation des filtres

Charles Henry Delaleu

*Nous avons publié les deux premières parties de cette série d'articles dans les numéros 20 et 23 de l'Audiophile. La première partie était consacrée à l'influence des selfs, la seconde à l'influence des condensateurs. Cette troisième et dernière expérience est orientée vers la réalisation de filtres et prévient l'audiophile contre les erreurs à éviter.*

### Rappels

Dans l'Audiophile n° 20, nous avons remarqué que la qualité des selfs influençait les paramètres mécano-électrico-acoustique d'un haut-parleur. Ce qui donnait comme conclusion : il est impossible de calculer correctement une enceinte acoustique en tenant compte uniquement du volume de l'enceinte. Il faut ainsi tenir compte des absorbbants acoustiques placés à l'intérieur du coffret. De même, il semble qu'il faille aussi tenir compte de la qualité des selfs placées en série avec le boomer.

Dans l'Audiophile n° 20, nous avons testé trois expériences afin de démontrer l'influence de la qualité des condensateurs :

- Mesure de distorsion.

- Mesure impulsionnelle.
- Mesure de la courbe d'impédance.

La mesure de la réponse impulsionnelle d'un haut-parleur filtré à six décibels par octave indique que la qualité du condensateur utilisé influe sur le niveau, donc sur la dynamique. La mesure de la courbe d'impédance d'un haut-parleur filtré à six décibels par octave indique que la perte d'insertion du condensateur utilisé influe sur la courbe d'impédance.

### Les neuf expériences

La conclusion de la deuxième partie de cette étude nous a poussé à effectuer une série d'expériences afin d'observer les phénomènes liés à l'implantation des composants dans le montage

d'un filtre répartiteur de fréquence.

Les quatre premières expériences portent sur la manière de dessiner un filtre, ainsi que sur l'action-réaction des cellules de filtrage entre elles.

Nous avons choisi afin de nous rapprocher le plus possible de l'ensemble des réalisations effectuées, un filtre trois voies, douze décibels par octaves.

### Expérience 1

Quelle est l'influence du câblage de la masse dans un filtre ?

### Expérience 2

Quelle est l'influence de la position des selfs les unes par rapport aux autres sur la courbe amplitude fréquence d'un filtre ?

### Expérience 3

Quelle est l'influence de la charge d'un filtre sur sa courbe de réponse amplitude fréquence ?

### Expérience 4

Quelle est l'influence du signal de réaction créé par un boomer sur la cellule du médium ?

A la suite de ces quatre expériences, nous en avons effectué cinq autres afin d'étudier l'influence de l'environnement des composants.

### Expérience 5

Que se passe-t-il lorsqu'une self est placée à proximité d'une autre self ?

### Expérience 6

Que se passe-t-il lorsqu'une self est fixée par une vis, lorsqu'une self est fixée sur une plaque métallique ?

### Expérience 7

Quelle est la courbe amplitude fréquence d'un filtre six décibels par octave utilisant une self, suivant qu'il est chargé par une résistance ou un haut-parleur ?

### Expérience 8

Que se passe-t-il lorsqu'une self est fixée sur l'un des haut-parleurs ?

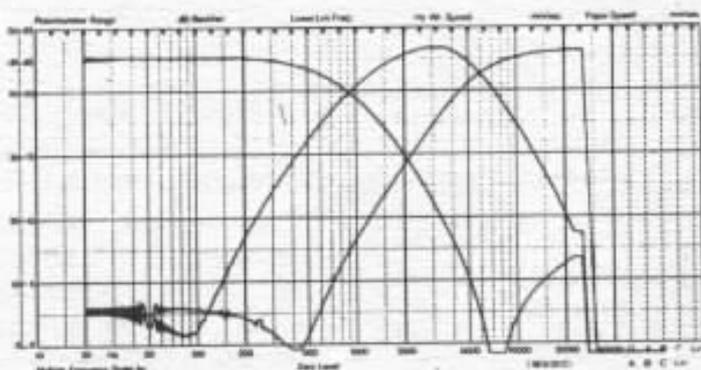
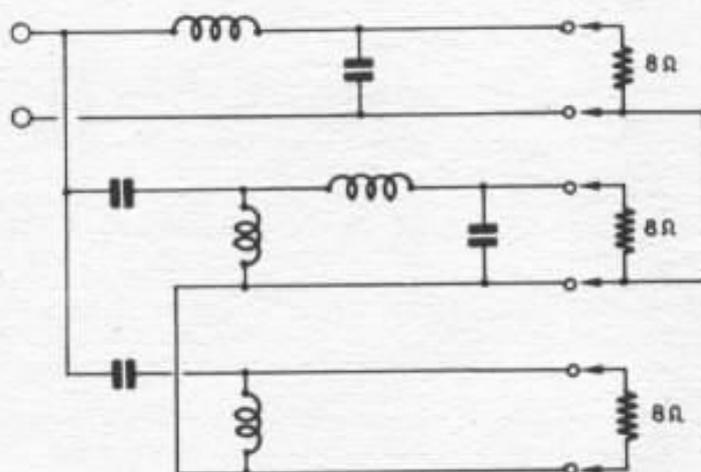
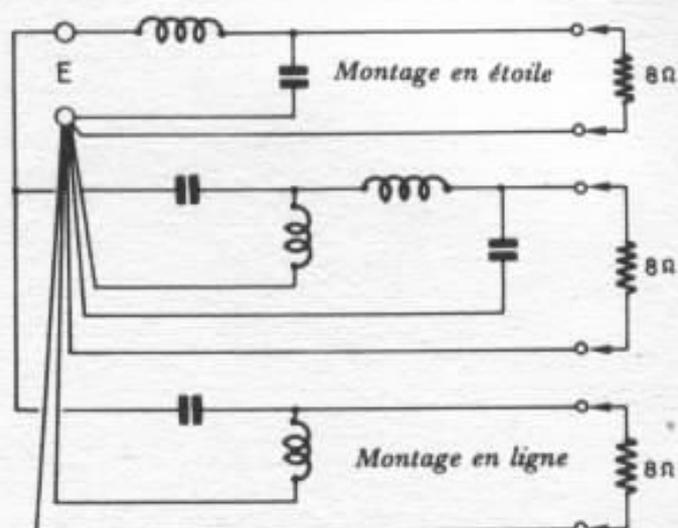
### Expérience 9

Pourquoi un filtre émet des sons sans être connecté à des haut-parleurs ?

A la lumière de ces expériences l'audiophile sera à même d'éviter plusieurs erreurs que l'on rencontre malheureusement trop souvent dans beaucoup de réalisations commerciales.

### Expérience n° 1

Un filtre classique 3 voies a été réalisé. La pente d'atténuation est de 12 décibels par octave. Dans un premier temps, les masses sont reliées entre elles par un



Montage en étoile

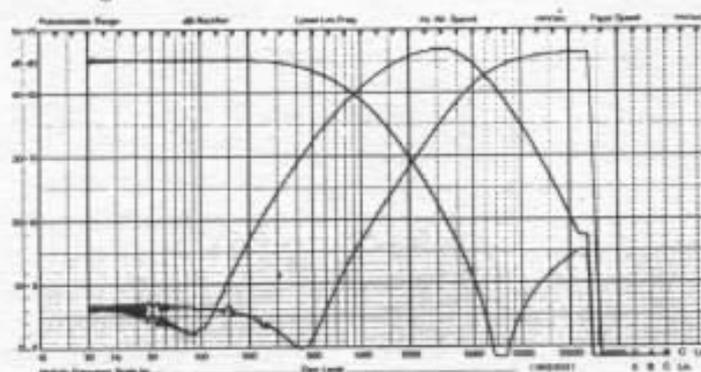


Figure 1 Montage en ligne

câblage en ligne (voir fig. 1). Les cellules sont chargées sur des résistances de 8 ohms. La courbe de réponse amplitude fréquence est relevée. Le banc de mesure est un Bruël et Kjaer, échelle 50 dB.

Le même filtre est réalisé une seconde fois, mais avec un câblage des masses non plus en ligne, mais en étoile. Il est possible d'observer sur les courbes de la figure 1 la différence des niveaux existant dans la partie atténuée de chaque courbe. Il existe une variation en tension de 1,5 dB soit 25 %. Le simple câblage d'un filtre influence la courbe amplitude fréquence de celui-ci. Première conclusion : il est préférable de monter un filtre avec un câblage des masses en étoile plutôt qu'en ligne.

## Expérience 2

L'expérience réalisée a été effectuée sur un filtre du commerce. Afin de simplifier le montage, le constructeur a placé sur les selfs série de la cellule passe-bas du boomer les selfs parallèles de la cellule passe-haut du médium sur les selfs série de la cellule passe-bas du médium sur les selfs parallèles de la cellule passe-haut du tweeter (il s'agit d'un filtre trois voies, 12 dB/octave  $L_1 = L_2 = 3$  mH,  $L_3 = L_4 = 0,3$  mH. Les selfs de 0,3 mH sont fixées sur les selfs de 3 mH). Nous avons dans un premier temps relevé la courbe amplitude fréquence des cellules de ce filtre. Après avoir remarqué le profil inquiétant du niveau d'atténuation (22 à 24 dB), nous avons relevé la différence de potentiels aux bornes de chaque selfs de 0,3 mH. Fig. n° 2. Seconde conclusion : il est fortement déconseillé de monter des selfs l'une sur l'autre sans agir sur le fonctionnement d'un filtre répartiteur de fréquences.

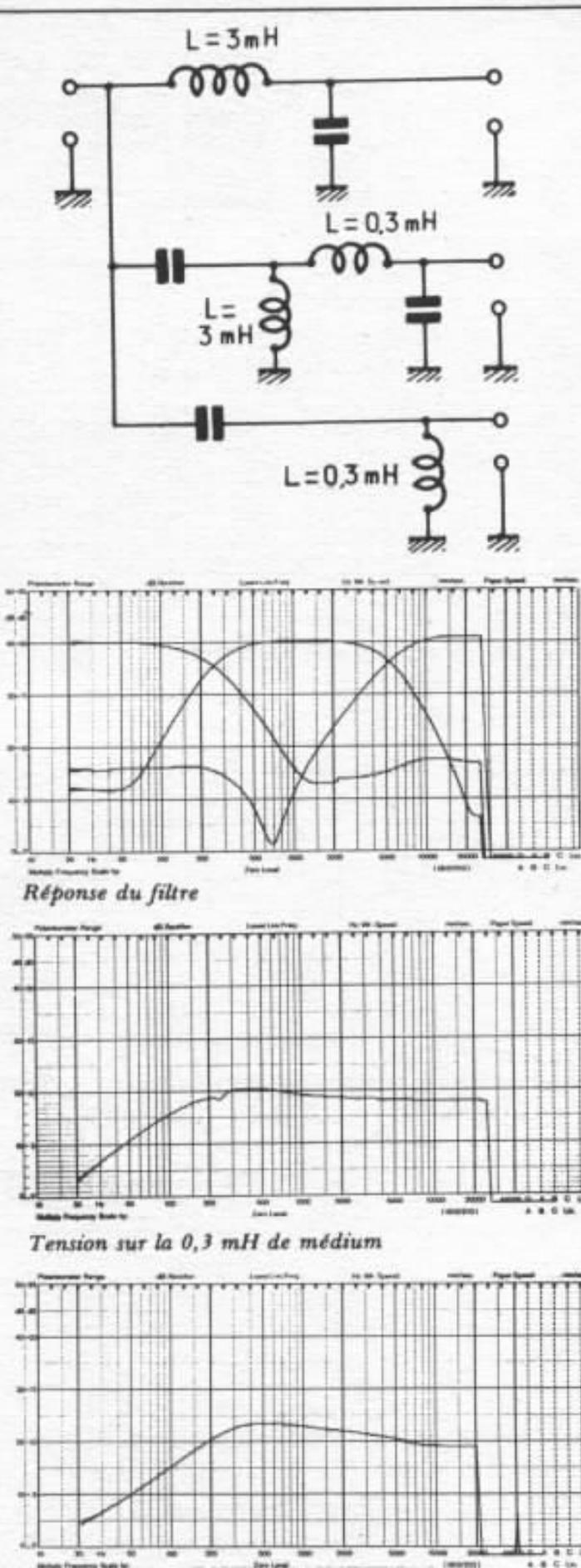


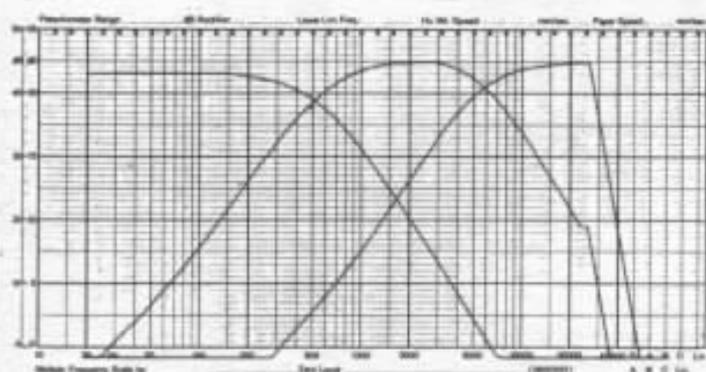
Figure 2 Tension sur la 0,3 mH d'aigu

### Expérience 3

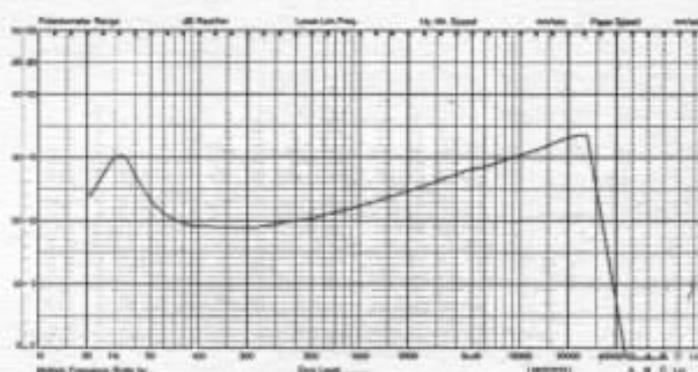
Nous avons relevé la courbe de réponse amplitude fréquence d'un filtre chargé par des résistances de 8 ohms. Dans un second temps, nous avons relevé la courbe de réponse amplitude

fréquence de ce même filtre, mais chargé par des haut-parleurs, et non plus par des résistances pures. Le profil de chaque courbe est très différent. Les fréquences de coupure sont décalées. (fig. 3). Troisième conclusion : il est préférable de

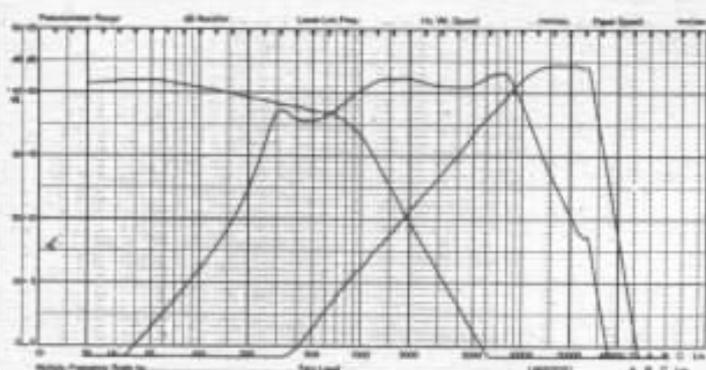
connaître l'impédance exacte de chaque haut-parleur à la fréquence où on désire le couper par un filtre répartiteur de fréquences. Un filtre doit être calculé pour être utilisé avec ses charges véritables, et non pas de pures résistances.



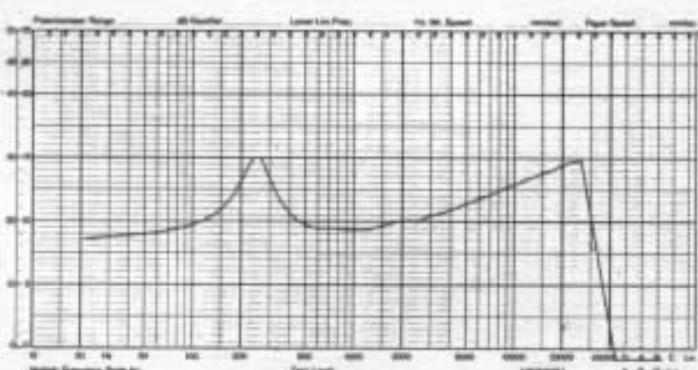
Réponse du filtre sur une résistance pure de 8 ohms



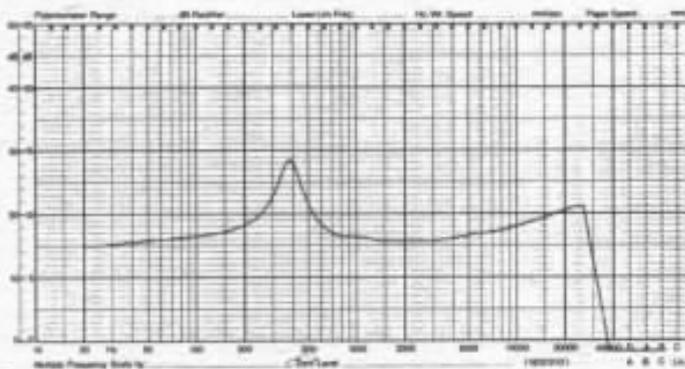
Courbe d'impédance du boomer



Réponse du filtre sur les haut-parleurs dont les courbes d'impédance sont indiquées.



Courbe d'impédance du médium



Courbe d'impédance du tweeter

Figure 3

#### Expérience 4

L'expérience suivante a été réalisée sur un filtre composé de deux cellules de filtrage à douze décibels par octave, une cellule passe-bas (boomer), une cellule passe-haut (médium). Sur la cellule passe-bas est connecté un boomer de qualité moyenne. Sur la cellule passe-haut est connecté une résistance de huit ohms. L'entrée du filtre n'est pas connectée. Un oscilloscope à mémoire est connecté par l'intermédiaire d'une sonde en parallèle sur la résistance de huit ohms. Mécaniquement (un petit coup effectué de la main) l'équipage mobile est déplacé afin de simuler une série d'oscillations du cône. Le cliché relevé permet d'observer qu'une partie de l'énergie ainsi générée se retrouve sur les bornes de la résistance. En d'autre terme, le fonctionnement du boomer

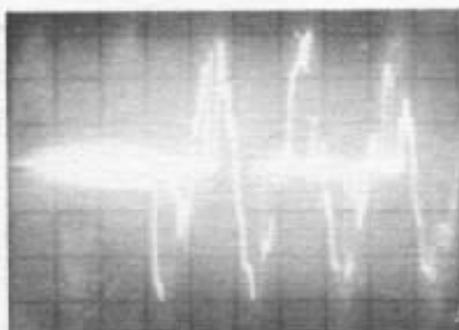
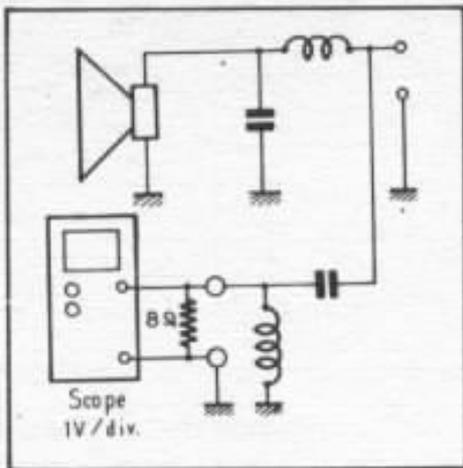


Figure 4

influe sur le fonctionnement du médium (fig 4).

Une expérience facile à réaliser consiste à brancher une enceinte trois voies sur un générateur sinusoïdal à la fréquence de vingt hertz. L'entrée de la cellule de filtrage du médium est déconnectée et l'environnement acoustique du médium est isolé de l'émission de boomer.

Pourtant on aperçoit le médium bouger faiblement, ceci pour une puissance injectée à l'enceinte d'un watt. L'énergie qui provoque ce déplacement est due à un manque d'atténuation des cellules de filtrage, à l'action de la cellule passe-bas, sur la cellule passe-haut par effet de mutuelle induction. Quatrième conclusion : un filtre répartiteur de fréquences réalisé par plusieurs cellules de filtrage, ne forme qu'un tout.

#### Expérience 5

Une cellule de filtrage passe-bas à six décibels par octave est réalisée. Cette cellule est chargée par une résistance de huit ohms.

Une seconde self est placée contre la première self du filtre. On relève la différence de potentiel aux bornes de la self du filtre, aux bornes de la résistance et aux bornes de la seconde self non chargée (fig. 5). La courbe A représente la tension prise aux bornes de la résistance, la courbe B celle prise sur la self du filtre et la courbe C le relevé effectué sur la seconde self.

Cette expérience permet de mettre en évidence le phénomène observé dans l'expérience 2. Cinquième conclusion : il ne faut pas réinventer le transformateur de tension afin de limiter l'encombrement d'un filtre répartiteur de fréquence.

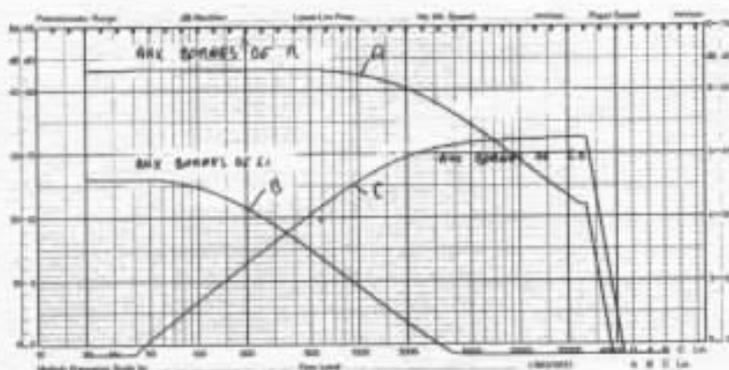
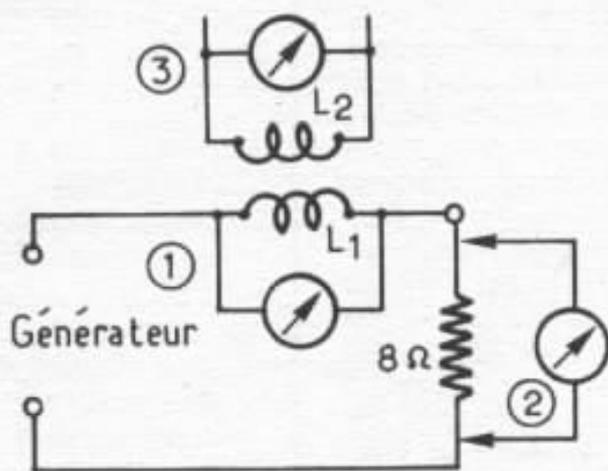


Figure 5

### Expérience 6

Une résistance de huit ohms charge une cellule de filtrage passe-bas, six décibels par octave réalisée par une self. On relève la courbe amplitude fréquence de cette cellule trois fois. La première fois la cellule est tenue dans la main, la seconde fois la cellule est placée sur une plaque métallique, la troisième fois la cellule est placée sur une planchette de bois fixée par une grosse vis. On observe une différence entre chaque courbe (fig. 6). Sixième conclusion : il convient de porter une attention vigilante sur les moyens utilisés pour la fixation des selfs, vis, bagues de serrage, non magnétiques. Le support sur lequel les selfs sont fixées peut avoir lui aussi son influence.

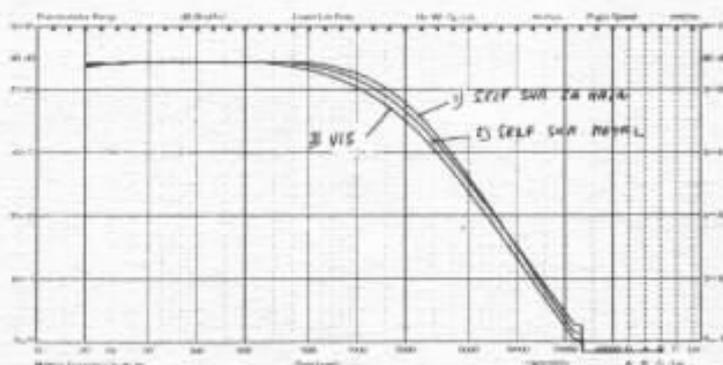
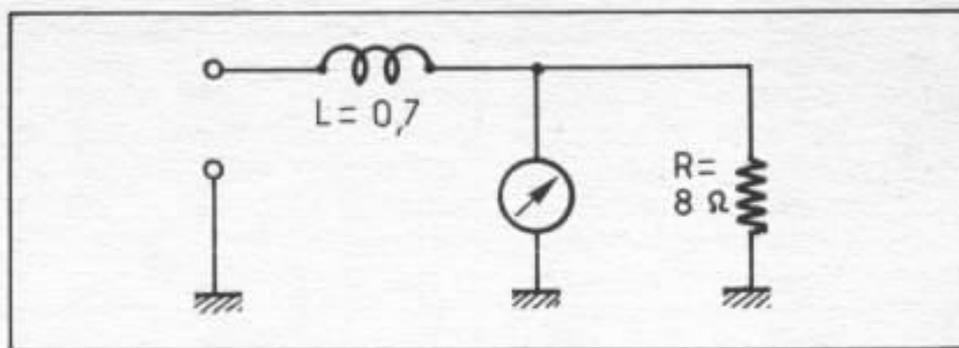


Figure 6

### Expérience 7

Cette expérience est le complément de l'expérience 3 et a pour but d'attirer l'attention du lecteur sur la variation de la courbe de réponse amplitude fréquence d'une cellule passe-bas six décibels par octave d'un filtre. Cette cellule est chargée une première fois par une résistance de huit ohms, une seconde fois par un haut-parleur de qualité moyenne. La différence de niveau à dix kilohertz et vingt kilohertz est significative (douze et vingt et un décibels respectivement) (fig. 7). Septième conclusion : seuls les haut-parleurs ayant une courbe de réponse amplitude fréquence sans accident peuvent être filtrés par des cellules ayant une faible atténuation. Un accident de la courbe amplitude fréquence d'un haut-parleur, localisé après la fréquence de coupure, peut agir sur l'ensemble de la courbe d'une enceinte à plusieurs voies.

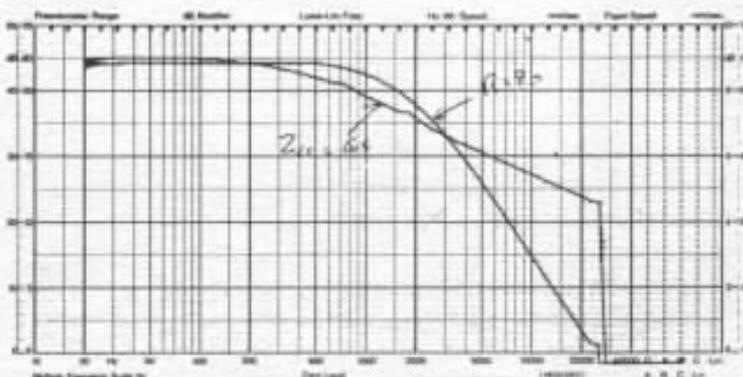
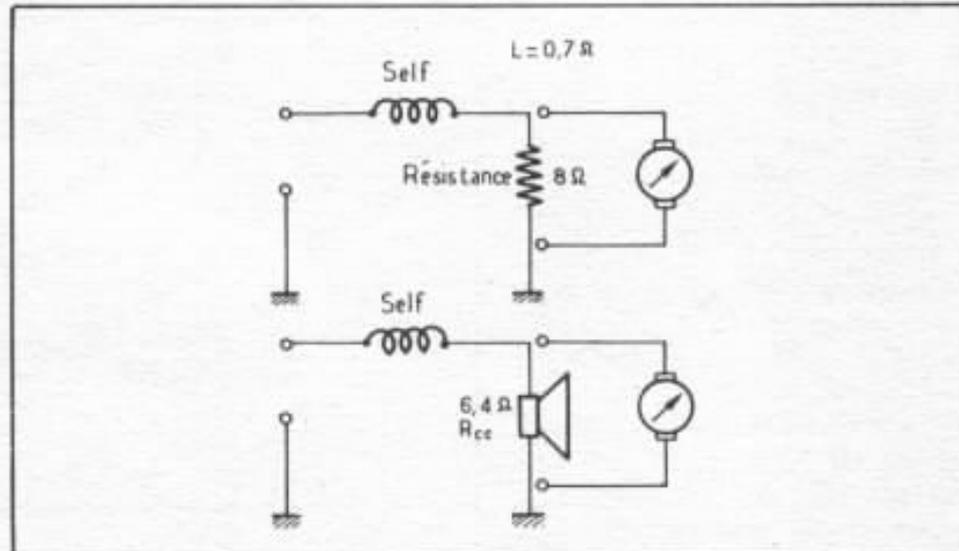


Figure 7

## Expérience 8

Il arrive fréquemment qu'une self soit collée sur le moteur d'un haut-parleur avec pour but de simplifier le câblage d'une enceinte. Dans cette expérience, nous avons collé une self sur un moteur de haut-parleur. Nous avons alimenté ce haut-parleur avec un générateur sinusoïdal de vingt hertz à vingt kilohertz.

Parallèlement nous avons branché un voltmètre aux bornes de la self. Sur la figure 8 nous observons que le signal ainsi recueilli est à moins trente décibels par rapport au signal injecté au haut-parleur.

Ceci est équivalent à une distorsion de trois pourcents. Huitième conclusion : il ne faut jamais dans le but de simplifier un câblage d'enceinte acoustique

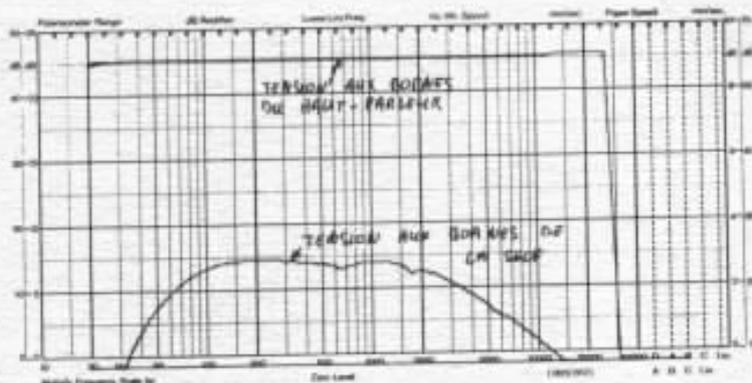
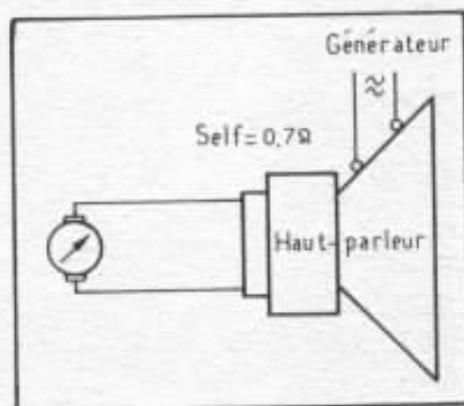


Figure 8

fixer une self de filtrage sur un haut-parleur. Lorsque l'on place une self près d'un moteur électro magnétique, il y a création d'un signal de distorsion par induction.



## Expérience 9

Lorsque l'on a l'habitude de mesurer des filtres répartiteurs de fréquences, on utilise un générateur sinusoïdal, un voltmètre ou un enregistreur et des résistances de charges. Or, bien que vous n'ayez branché aucun haut-parleur, vous entendez la fréquence glissante dans le filtre.

Pour peu que votre mesure se fasse en puissance, vous percevez parfaitement le son émis. Nous avons abordé ce phénomène dans l'Audiophile n° 23 au sujet du choix des condensateurs.

Dans cette expérience, nous avons réalisé une cellule avec une self et une résistance de charge de huit ohms. Nous avons injecté à cette cellule une fréquence glissante de vingt hertz à vingt kilohertz sous une puissance de trente watts. Un accéléromètre Bruel et Kjaer est fixé sur la self et nous relevons le niveau capté sur un enregistreur.

Comme nous nous en apercevons sur la figure 9, le signal relevé sur le banc de mesure est très important. Neuvième conclusion : dans la réalisation d'un filtre, il ne faut jamais hésiter à

choisir des selfs surdimensionnées et imprégnées sous vide. De même, il est préférable d'opter pour des condensateurs irréprochables mécaniquement (par exemple des polycarbonate imprégnés d'époxy).

**Conclusion :** Nous espérons que cette série de trois articles permettra à de nombreux audiophiles de réaliser dans les meilleures conditions des filtres répartiteurs de fréquence évitant des écueils élémentaires, malheureusement encore trop fréquents même sur des réalisations prétendues de haut-niveau...

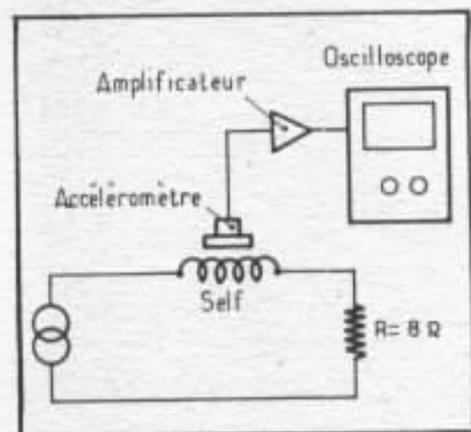
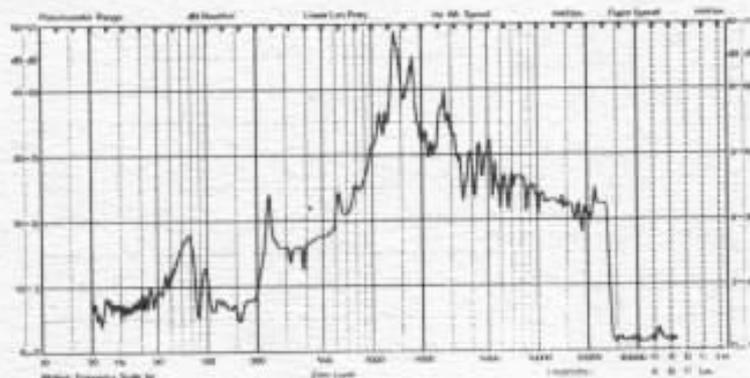


Figure 9



**Page non  
disponible**

# Quelques réflexions techniques sur les préamplificateurs phono

*Philippe Faugeras*

*A grand renfort de publicité de nouvelles architectures d'amplificateurs de puissance sont annoncées. Après le new class A le super A sans oublier les pyramides et la correction aval la liste est longue de ces nouveaux amplificateurs. Dans le domaine des préamplificateurs les arguments des annonceurs sont beaucoup moins « frappants ». Le classicisme étant de rigueur, on préfère insister sur l'optimisation des circuits existants : choix et tri des composants actifs et passifs, recherche de point de fonctionnement optimum (bruit, distorsion), adaptation cellule préamplificateur.*

*Dans cet article on se propose à travers différents circuits de base (les schémas sont pratiquement inchangés depuis dix ans) de rappeler quelles sont les principales contraintes techniques imposées par un préamplificateur phono et les solutions retenues. Cette étude se limitera aux transistors ce qui permettra d'ouvrir un nouveau débat en ce qui concerne le choix entre un Fet et un bipolaire.*

Si on fait abstraction de la puissance de sortie, le principal problème d'un amplificateur de puissance est de restituer le signal d'entrée amplifié avec un minimum de distorsion... Par définition on connaît les différentes sources de distorsion d'un amplificateur de puissance : la non linéarité des composants actifs par exemple (distorsion par harmoniques et intermodula-

tion) ou encore les phénomènes de saturation sur de fortes transitoires... Le concepteur désirent minimiser ces différentes distorsions dispose de différentes solutions : le type de fonctionnement (classe B, classe A B, classe A...), la technologie des composants de sortie (bipolaire, Mos Fet), ou enfin le « design » du circuit lui-même (contre-réaction, correction en fré-

quence...). Du fait des niveaux des signaux à traiter (quelques millivolts) les problèmes posés par un préamplificateur sont tout à fait différents. Si comme les amplificateurs de puissance, il devra s'affranchir des problèmes de distorsion, il devra de plus minimiser toutes les sources de bruit qui pourraient altérer le signal. Or, si on sait par des artifices diminuer la distorsion (en

particulier, en utilisant des contre-réactions), il n'en est pas de même avec le bruit.

Enfin n'oublions pas que l'étude d'un préamplificateur doit se faire pour une source donnée et que les contraintes apportées par celle-ci (adaptation en impédance, correction en fréquence...) limitent notablement « la liberté » du concepteur.

### Dynamique

De plus en plus la surcharge admissible par l'entrée d'un préamplificateur devient un facteur prépondérant. La qualité des disques augmentant, de fortes tensions peuvent être captées par la cellule magnétique. Des valeurs de 150 mV et plus peuvent être appliquées à l'étage d'entrée du préamplificateur ce qui correspond, pour une tension normale de 2 mV à une dynamique de 38 dB. Si de surcroît on désire une certaine aire de sécurité, on arrive à des dynamiques de 40 dB que seuls les préamplificateurs haut de gamme possèdent.

La surcharge maximum admissible par un préamplificateur est imposée par l'alimentation. En effet pour un courant donné, le point de polarisation et ainsi la limite de fonctionnement

avant saturation des différents étages est déterminée par l'alimentation. Le premier réflexe est de dire et « bien augmentons l'alimentation », malheureusement une limitation apparaît rapidement : le choix des composants actifs. Les transistors petits signaux (et en particulier les Fet) voient certaines de leurs caractéristiques se détériorer avec des tensions d'utilisation élevées. La figure 1 montre le courant de fuite ( $I_0$ ) d'un transistor à effet de champ en fonction de la tension drain source ( $V_{DS}$ ) appliquée. On voit qu'à partir d'une certaine tension  $V_{DS}$ ,  $I_0$  augmente très rapidement et rend l'utilisation de ce transistor pour des tensions supérieures à  $V_s$  impossible.

Une tension d'alimentation de  $\pm 35$  V apparaît être une limite dans les préamplificateurs actuels.

### Distorsion

Les formes de distorsions les plus courantes que l'on trouve dans un amplificateur ou un préamplificateur sont généralement dues aux phénomènes de non linéarité qui existent dans les composants actifs. A titre d'exemple les formules (1) et (2) donnent les relations qui relient le courant de sortie en fonction

de la tension d'entrée pour un transistor bipolaire et pour un transistor Fet.

$$I_c = I_s \left[ \exp \frac{e}{kT} V_{BE} - 1 \right] \quad (1)$$

(Transistor bipolaire)

$I_c$  courant de collecteur.

$V_{BE}$  tension d'entrée.

$e/kT = 1/26$  mV à la température ambiante.

$$I_0 = I_{OSS} \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS\ off}} \right]^2 \quad (\text{Fet})(2)$$

$I_0$  courant de drain ;  $V_{GS}$  : tension d'entrée ;  $V_{GS\ off}$  tension de blocage.

A l'aide d'un exemple nous allons voir comment sur un amplificateur on peut résoudre ce problème et linéariser la courbe de transfert d'un transistor.

La figure 2 représente la distorsion d'un transistor bipolaire 2N5087 en fonction du signal d'entrée. Pour une amplitude de 1 mV, la courbe donne une distorsion de 1 %, elle passe à 10 % pour une tension de 10 mV.

Considérons un amplificateur ayant un gain en boucle ouverte de 2 000 et un gain en boucle fermé de 200, dans ces conditions pour un tension d'entrée de 1 mV la contre-réaction réduit la distorsion par un facteur 10 celle-ci passant à 0,1 %. Une solution pour réduire la distorsion est donc d'augmenter le gain en boucle ouverte (figure 3). Bien sûr, il existe une limitation à cette augmentation, elle est donnée par la stabilité du système. D'autre part pour un gain en boucle ouverte important une nouvelle forme de distorsion apparaît : la distorsion d'intermodulation par transitoire.

Une autre alternative pour diminuer la distorsion est d'utiliser une paire différentielle parfaitement appairée. La paire différentielle par sa symétrie permet de supprimer les harmoniques de rang paire particulièrement l'harmonique de rang 2 qui joue un rôle prépondérant dans le cas d'un transistor simple. Tous ces résultats sont résumés dans la

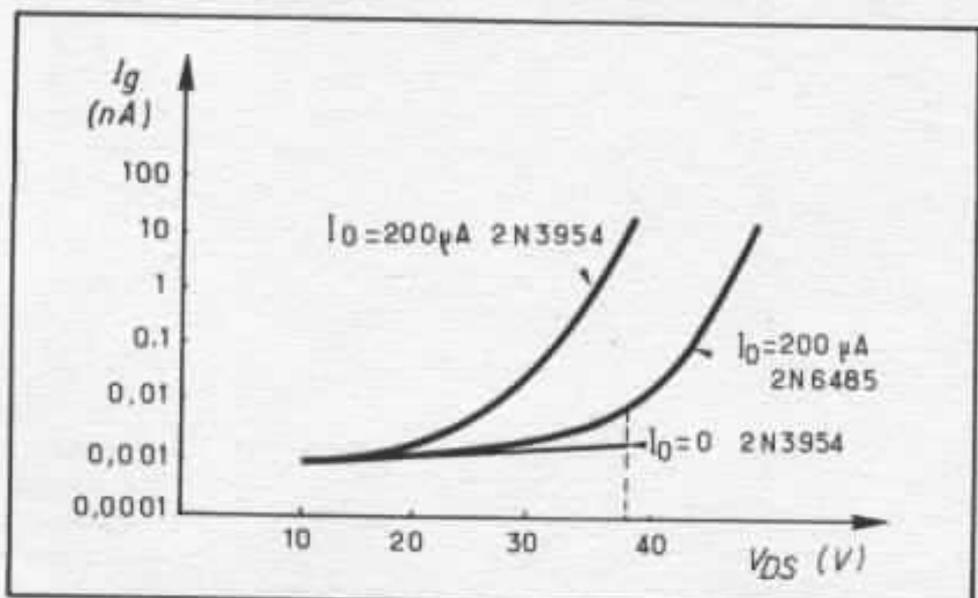


Fig 1. Courant de fuite d'un transistor Fet en fonction de la tension drain source appliquée.

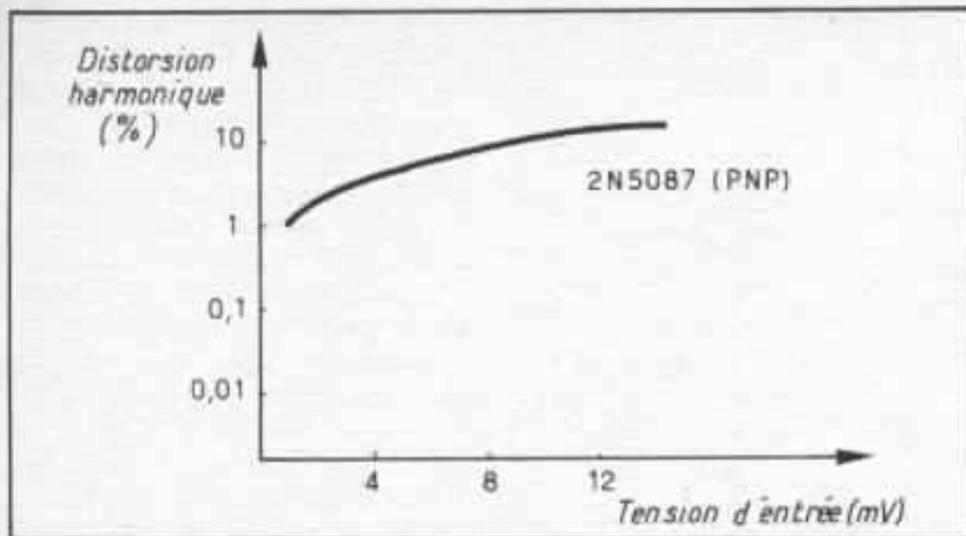


Fig 2. Distorsion d'un transistor bipolaire en fonction de la tension d'entrée.

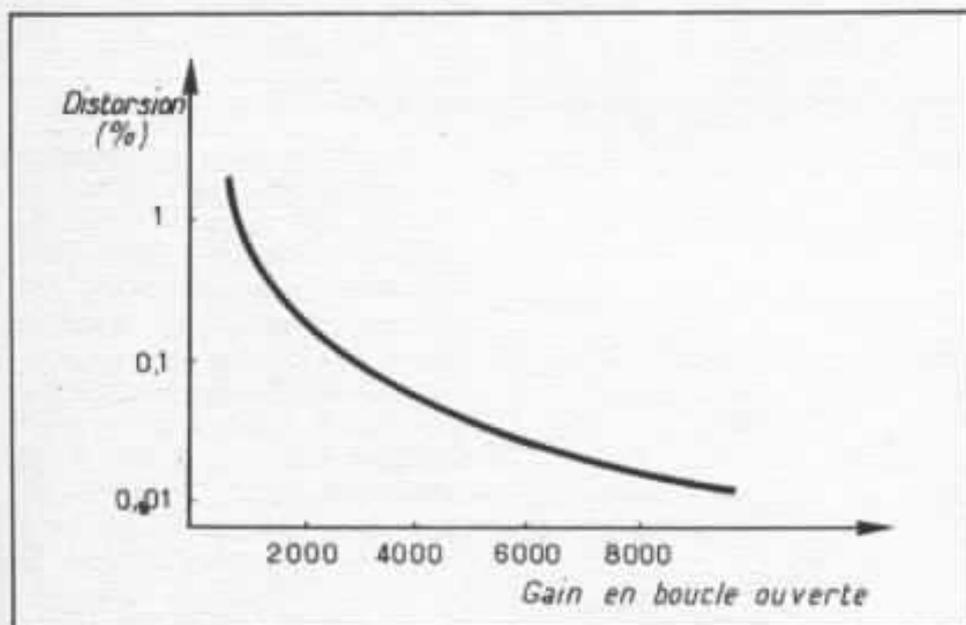


Fig 3. La distorsion en fonction du gain en boucle ouverte.

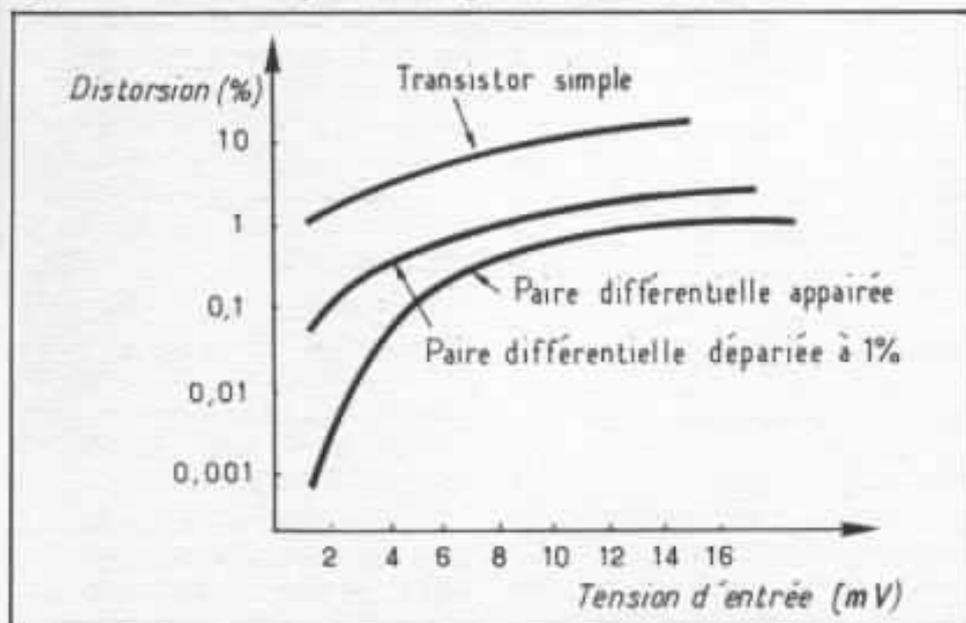


Fig 4. La distorsion en fonction de la tension d'entrée suivant l'appairage des transistors.

figure 4, il est intéressant de noter quelle est la pénalité apportée par une légère dissymétrie sur un étage différentiel (facteur 100 pour une dissymétrie de 10 % !)

### Rapport signal/bruit

Dans un article précédent (Audiophile n° 22) un débat sur l'optimisation d'un préamplificateur avec comme paramètre le bruit avait déjà été ouvert. Rappelons simplement que le bruit est un phénomène intrinsèque aux composants actifs et passifs et que pour obtenir un bon rapport signal/bruit les transistors d'entrée devront être choisis avec soin. En particulier, les transistors bipolaires devront avoir une faible résistance de base  $r_{bb}$ , les transistors Fet une forte transconductance  $g_m$ .

Autre point important, l'optimisation en bruit de l'ensemble cellule magnétique préamplificateur fait que le courant de polarisation de l'étage d'entrée doit tenir compte de l'impédance de la cellule magnétique. Dans le cas d'un transistor bipolaire ce courant de polarisation doit être égal à :

$$I_P = \frac{26 \sqrt{\beta}}{Z_s} \text{ mA ou } \beta Z_s$$

représente le gain en courant du transistor d'entrée et  $Z_s$  la partie réelle de l'impédance de la source. A une fréquence de 1 kHz, ce courant est proche de 100  $\mu\text{A}$ , la difficulté réside dans le fait qu'une cellule magnétique est selfique et que son impédance  $Z_s$  varie avec la fréquence.

Le bruit par définition est un phénomène aléatoire et indépendant de la fréquence (bruit blanc), au contraire donc de la distorsion, l'utilisation d'une paire différentielle par rapport à un transistor simple va augmenter le bruit généré par l'étage d'entrée.

### Préamplificateur à transistors bipolaires

H.P. Walker fut un des premiers à prendre en considération

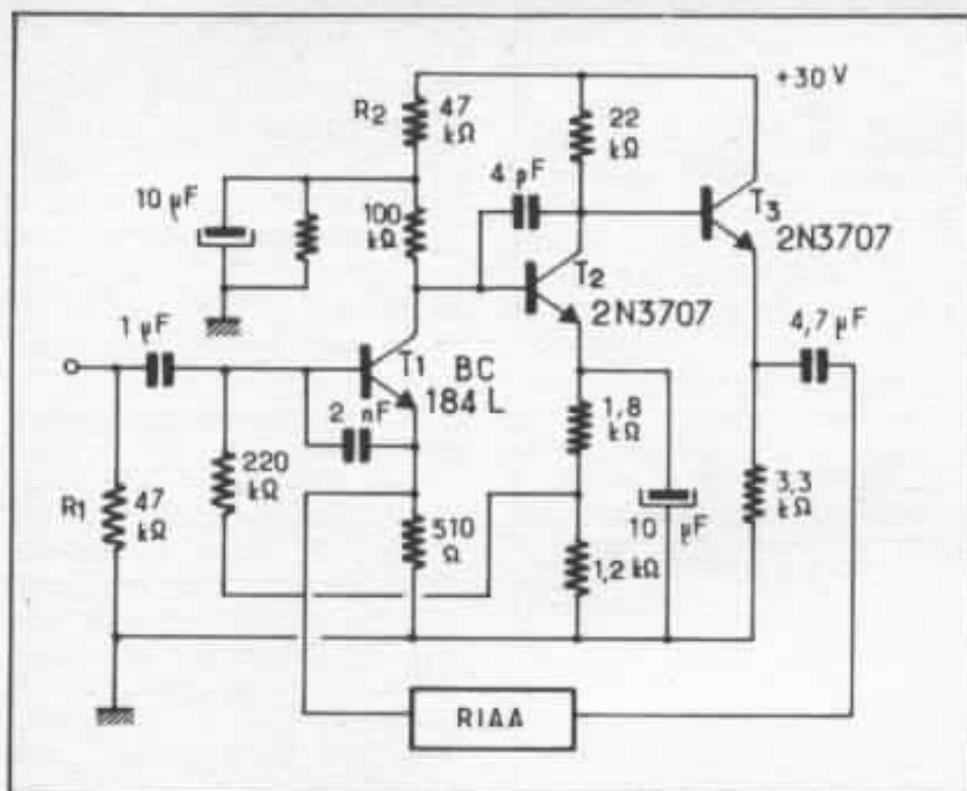


Fig 5. Préamplificateur RIAA utilisant des transistors simples NPN (Walker).

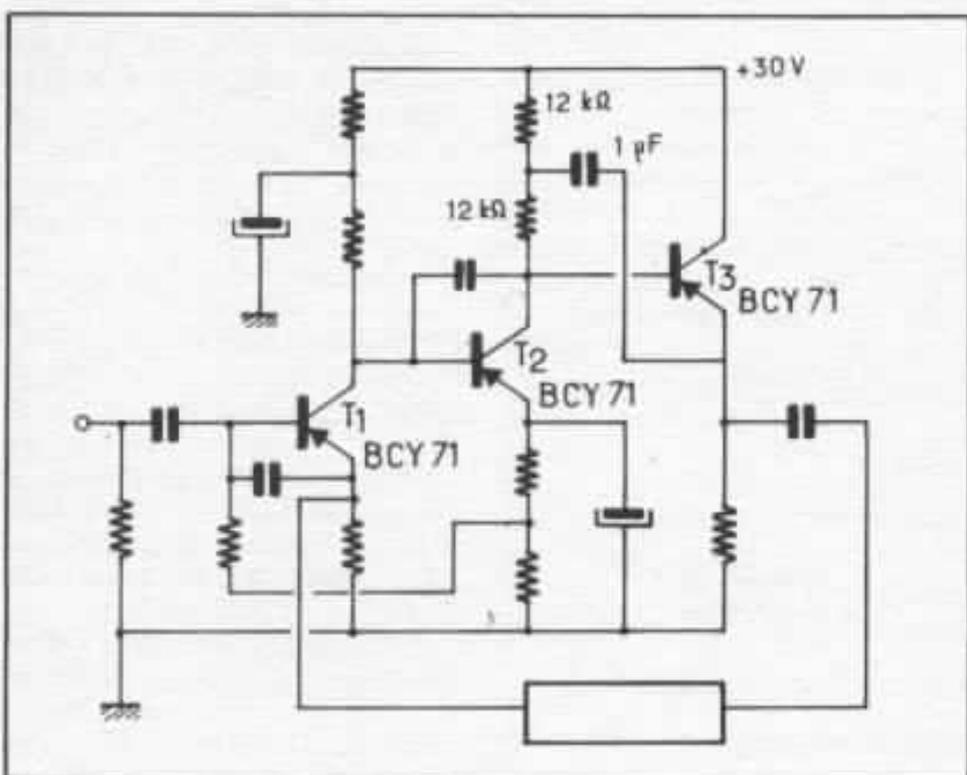


Fig 6. Préamplificateur Walker utilisant des transistors PNP.

le couple cellule préamplificateur et à optimiser le courant de polarisation de l'étage d'entrée. La figure 5 représente le schéma proposé par Walker qui inspira et inspire encore de nombreux concepteurs. Réalisé à partir de

trois transistors NPN, il allie à la fois beaucoup de simplicité et de rigueur. La polarisation de l'étage d'entrée se fait à partir de  $R_1$  et  $R_2$  (en parallèle cela donne l'impédance d'entrée du montage, de l'ordre de 50 kΩ).  $T_1$  et

$T_2$  sont responsable du gain en tension quant à  $T_3$  monté en collecteur commun il abaisse l'impédance de sortie du montage et sert de « tampon » entre l'étage phono et les étages linéaires. On trouve autour de ce schéma de nombreuses variantes, la figure 6 montre un exemple utilisant des transistors PNP.

Les inconvénients de ce type de schéma sont de plusieurs sortes en premier lieu l'utilisation d'une alimentation simple diminue la dynamique du préamplificateur, et oblige le placement d'une capacité de liaison en entrée. Enfin ce préamplificateur possède des performances en distorsion modestes du fait de l'utilisation d'un transistor simple.

De plus en plus, couramment les préamplificateurs modernes utilisent une paire différentielle en entrée outre des meilleurs performances en distorsion elle permet une plus grande isolation entre la boucle de contre-réaction et l'entrée, supprimant ainsi toute interaction entre la cellule et la boucle RIAA. Tomlinson Holman concepteur et critique de grande renommée fut à l'origine du préamplificateur de la figure 7. Ce circuit reste pour de nombreux techniciens et audiophiles comme une des références à l'heure actuelle. Il utilise en entrée une paire différentielle  $T_2$ ,  $T_3$  chargé par le transistor  $T_1$  monté en source de courant. Ce type de montage permet d'obtenir un gain en boucle ouverte très important et une grande impédance d'entrée.

Particulièrement étudié pour sa réponse en fréquence ce préamplificateur possède un slew-rate élevé. Chose peu courante la sortie s'effectue sur un montage darlington  $T_4$ .

Les performances de ce préamplificateur sont :  
 signal/bruit = 82 dB.  
 $d = 0,02 \%$  pour 7 V tension de sortie.

La figure 8 représente un autre

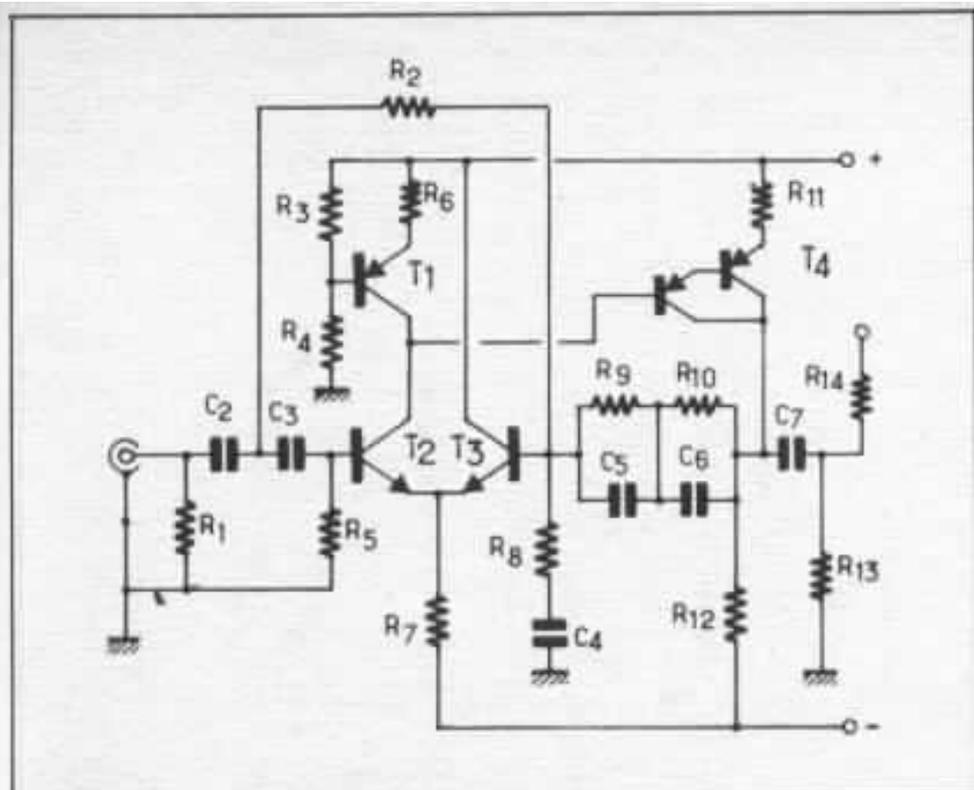


Fig 7. Preamplificateur Holman.

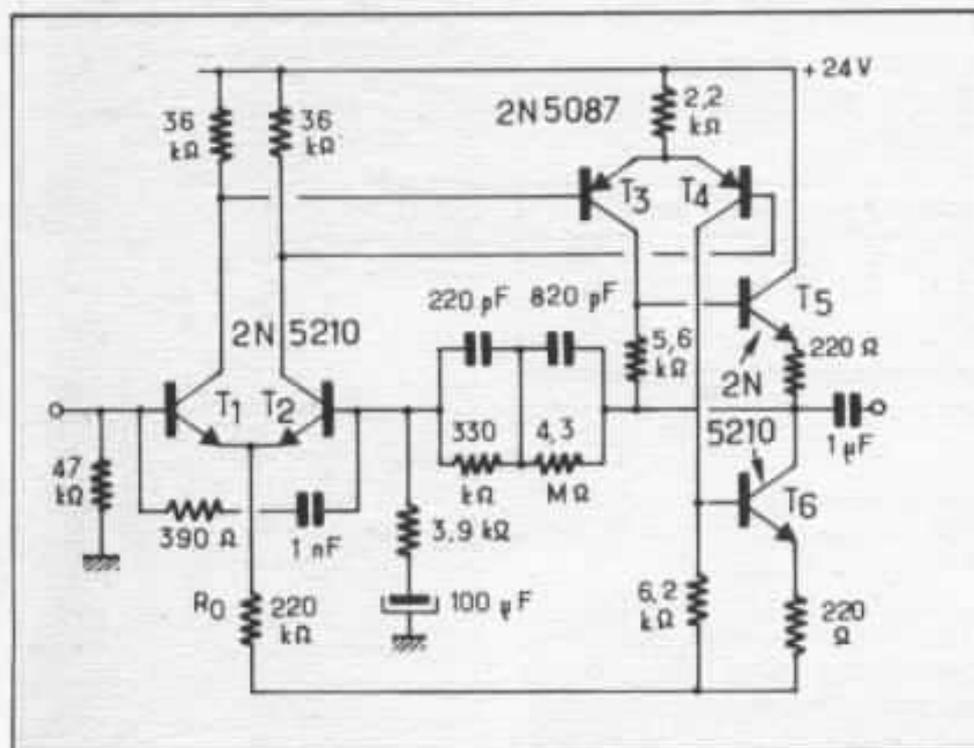


Fig 8. Schéma très classique utilisant deux paires différentielles.

schéma très classique utilisant deux paires différentielles en série. Le montage à très grand gain en boucle ouverte (d'où faible distorsion) permet d'obtenir une grande rejection du bruit engendré par l'alimentation et par le premier étage (en particu-

lier  $R_0$ ). Enfin la sortie de ce préamplificateur s'effectue sur  $T_5$   $T_6$  qui forme un push-pull fonctionnant en pure classe A. Ces transistors fournissent le courant nécessaire aux circuits de contre-réaction RIAA et aux étages suivants.

## Préamplificateur Fet (Field Effect Transistor)

L'utilisation de transistors Fet dans les préamplificateurs phono est plus récente et encore limitée aux réalisations haut de gamme.

Rappelons en quelques lignes les grandes différences qui existent entre un Fet et un bipolaire et les conséquences que cela implique dans la conception d'un préamplificateur.

- Comme son nom l'indique le courant qui circule dans un Fet est induit sous l'effet d'un champ électrique produit par une tension. Il en résulte que dans l'électrode de commande (Gate) il ne circule aucun courant et que le Fet présente ainsi une impédance d'entrée très importante. Cette grande impédance facilite la conception du circuit et évite toutes interactions entre la cellule et le préamplificateur.

- Un Fet présente une transconductance  $g_m$  beaucoup plus faible que celle d'un transistor bipolaire ce qui implique que pour une même résistance de charge  $R_c$  un Fet aura un gain en tension  $A = g_m R_c$  nettement inférieur, considération qui devra être prise en compte dans la détermination du gain en boucle ouverte du préamplificateur.

- En ce qui concerne le bruit, un Fet paraît mieux adapté pour des sources de forte impédance, et le transistor bipolaire pour des sources de faible impédance. La figure 9 montre que le croisement se situe vers 3 k $\Omega$  or une cellule à aimant mobile possède une impédance qui varie entre 1 et 40 k $\Omega$  !

Au niveau distorsion, les deux transistors qu'ils soient bipolaires (caractéristique exponentielle) ou Fet (caractéristique parabolique) présentent une importante non linéarité. Des mesures faites sur deux transistors, présentant des caractéristiques équivalentes, sont présentées au tableau 1 : le Fet s'avère supérieur. Enfin, les Fet présen-

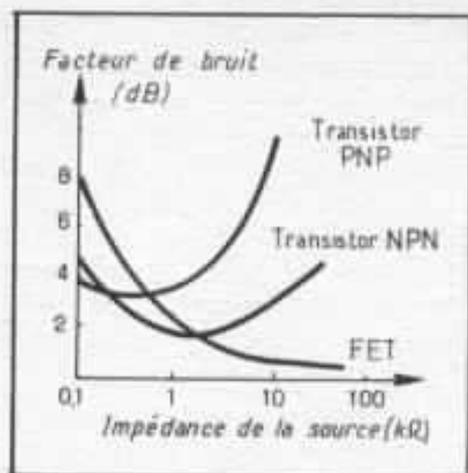


Fig 9. Facteur de bruit comparé pour trois transistors.

tent pour un même transistor, une dispersion plus grande de leurs caractéristiques, ce qui rend plus difficile leur appairage (point important pour l'amateur).

Comme on le voit le « match » est difficile, je laisse aux lecteurs le choix de pondérer tous ces paramètres et de trouver le vainqueur... N'oublions pas

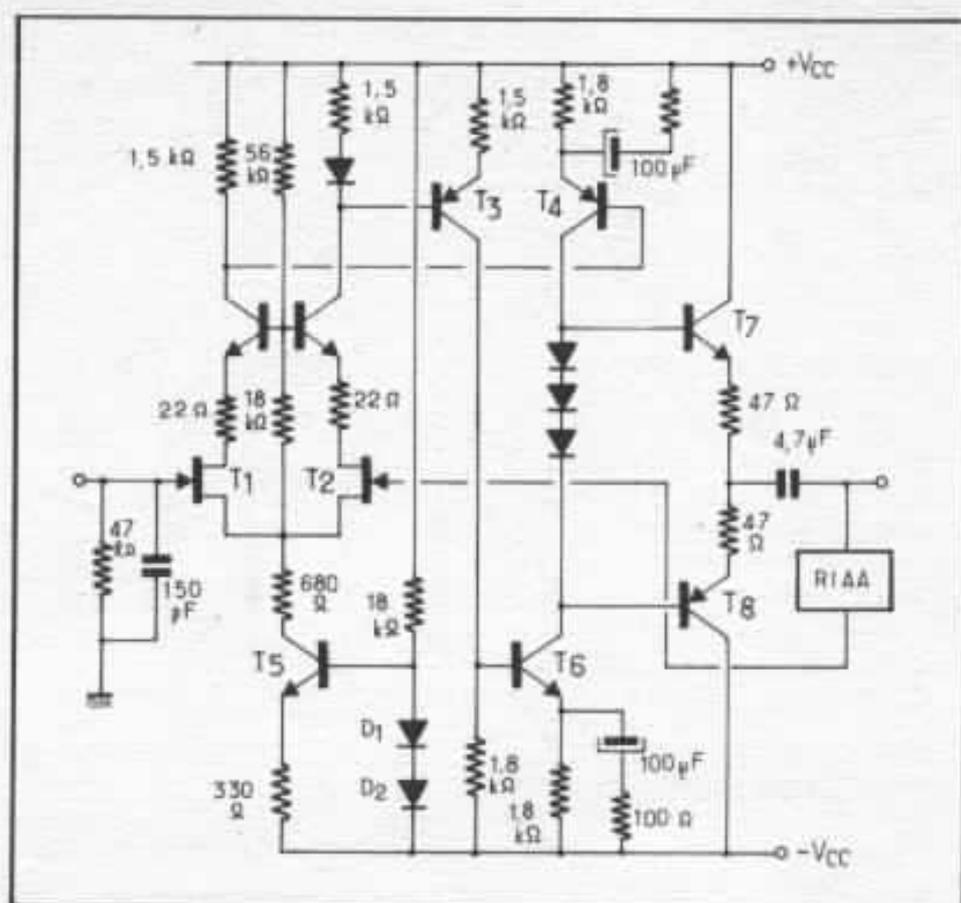


Fig 10. Préamplificateur Sansui, on notera la structure de base de type Kanéda.

	harmon. 2	harmon. 3	harmon. 4	harmon. 5
Fet (2N5458)	1 %	0,1 %	0,02 %	0,004 %
Bipolaire (B183C)	2 %	0,3 %	0,1 %	0,03 %

Distorsion comparée de deux transistors pour une même tension de sortie et un même facteur de contre-réaction.

deux caractéristiques importantes qui n'ont pas encore été citées : le prix qui pour une même gamme de performance est plus important pour un Fet et bien sûr la qualité subjective. Les nombreuses critiques parues sur ce sujet conclues à un meilleur son du Fet (sonorité plus proche du tube).

Quelques exemples :

Il est difficile d'aborder les préamplificateurs Fet sans citer le circuit Kanéda, son architecture (paire Fet suivi d'une paire bipolaire PNP) se retrouve sur de nombreuses réalisations.

Quelques constructeurs ont essayé « d'étoffer » ce schéma,

un exemple typique est donné par le préamplificateur présenté à la figure 10 (Sansui).

La structure de base (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>) est conservée, par contre on retrouve dans l'étage d'entrée un générateur de courant constitué par (T<sub>3</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>). Autre modification la charge des transistors Fet d'entrée est constituée de deux transistors bipolaires montés en base commune. Ce type de configuration (cascode) permet de diminuer notablement la capacité d'entrée des transistors (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>), on la retrouve sur de nombreuses réalisations.

Enfin, on retrouve en sortie un amplificateur push-pull travail-

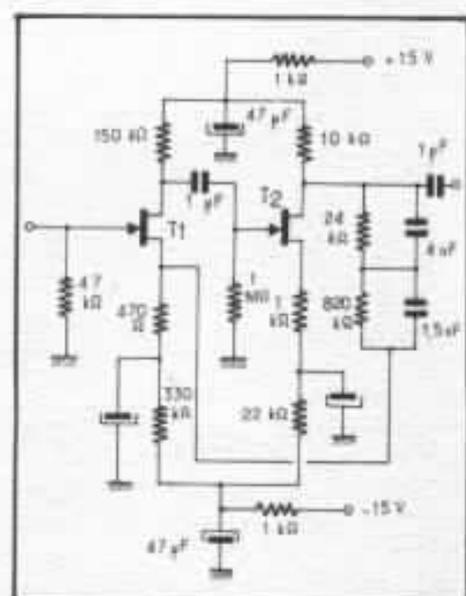


Fig 11. Schéma très simple n'utilisant que deux fets.

lant en classe A. (Transistors complémentaires).

La principale remarque que l'on peut faire en analysant ce schéma est sa grande complexité (10 transistors) ce qui peut provoquer au niveau subjectif quelques surprises.

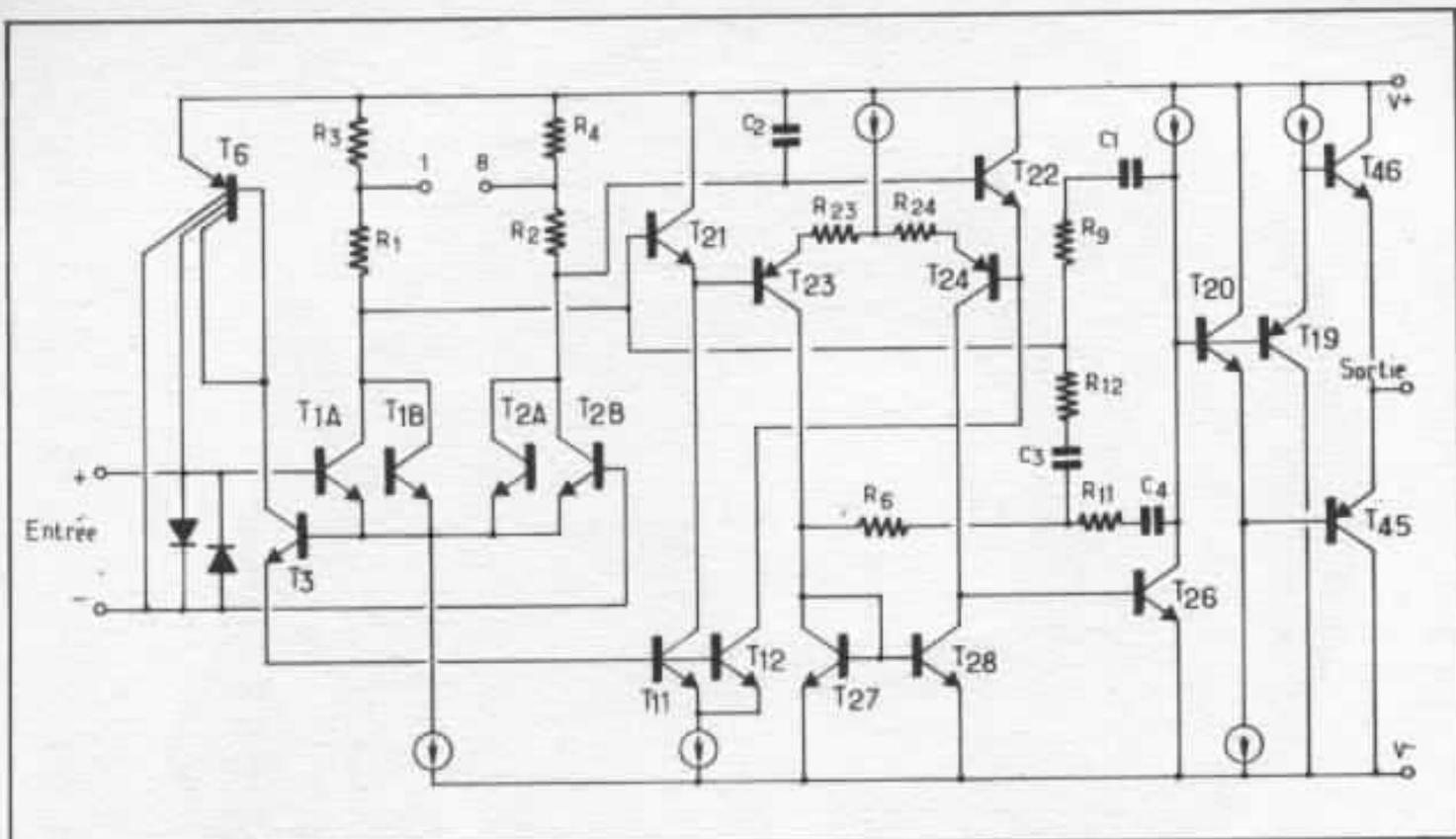


Fig 12. Schéma interne de l'OP-37 PMI.

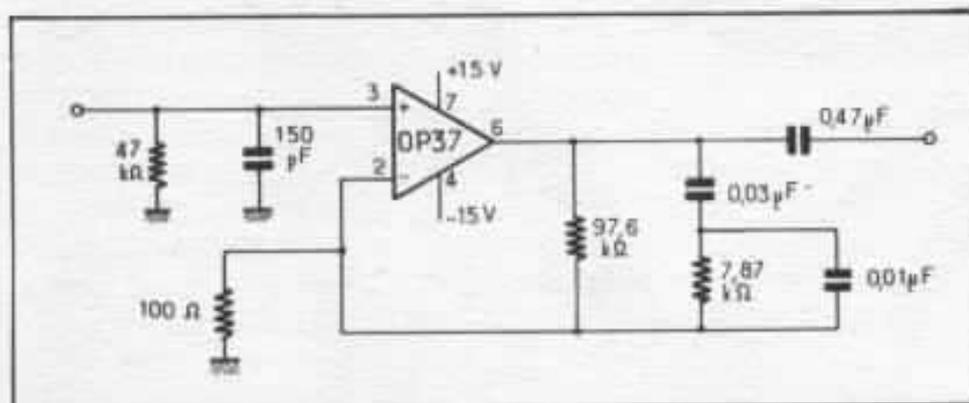


Fig 13. Préamplificateur RIAA à circuit intégré.

Un schéma beaucoup plus simple est donné à la figure 11 : il utilise deux transistors. Malgré sa simplicité, les résultats obtenus avec ce préamplificateur sont très bons.

Le seul reproche qu'on peut lui faire est l'utilisation d'une liaison capacitive entre les deux étages.

### Préamplificateur à circuits intégrés

A l'heure actuelle seuls les amplificateurs bas de gamme utilisent des circuits intégrés, deux

raisons à cette éviction, le bruit et la distorsion.

Depuis quelques années, des efforts très importants ont été faits par certains constructeurs pour améliorer ces deux caractéristiques, la raison principale en est le développement de plus en plus grand de systèmes d'acquisition de données très performants.

L'OP-37 réalisé par PMI est un de ces circuits intégrés que l'on pourrait bientôt retrouver sur des appareils de bonnes renommées.

Il est intéressant d'analyser le schéma interne de ce circuit figure 12. L'étage d'entrée est réalisé à partir de deux paires différentielles montées en parallèle, cette configuration que l'on retrouve quelquefois sur des pré-amplificateurs pour cellules à bobines mobiles permet de diminuer le bruit par un facteur  $\sqrt{2}$ .

Les caractéristiques de ce préamplificateur sont tension de bruit en :  $3 \text{ mV}/\sqrt{\text{Hz}}$ , slew rate  $17 \text{ V}/\mu\text{s}$  dérive  $0,2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .

La figure 13 donne un exemple de réalisation utilisant ce circuit il a bien sûr comme grand avantage... sa simplicité, il reste maintenant à juger ses caractéristiques subjectives.

### Conclusion

Le but de cet article était de donner à tous les audiophiles quelques notions de base sur les caractéristiques techniques d'un préamplificateur. Dans un prochain article, les problèmes de distorsion inhérents à un amplificateur seront développés.

**Page non  
disponible**

# D.A.D. contre M.A.D. (Digital Audio Disc contre Musiciens Anti-Digital)

Jean Hiraga

*Nos lecteurs ont, très certainement, entendu parler des gros remous qu'ont provoqué les premières expériences, suivies de la lente et incertaine mise en vente des fameux disques « laser », ou plus exactement des disques à codage numérique et lecture par rayon laser. Chacun a pu entendre parler aussi des premiers problèmes pratiquement insolubles de standardisation, de commercialisation, aux budgets énormes, ainsi que des difficultés conséquentes rencontrées sur le marché international de la haute-fidélité. De nombreux audiophiles se sont montrés particulièrement hostiles à cette nouvelle technologie, que leurs critiques soient fondées ou non sur des bases sûres. D'un côté, les constructeurs nous parlent d'améliorations fantastiques, bien plus grandes que celles qui avaient eu lieu entre le disque 78 tours, en shellac, et le disque microsillon 33 tours. D'un autre, des audiophiles nous parlent, à propos de récentes démonstrations sur disque « D.A.D. » à lecture par rayon laser, de défauts « prononcés » tels que « perte d'informations » de petit niveau, de son « dur », de son « artificiel ». Qui croire ?*

## **Numérique ou « digital »**

Le numérique, ou « Digital » en anglais est un système de codage des signaux sonores employé à l'enregistrement puis à la lecture, permettant d'améliorer dans des proportions importantes le rapport signal/bruit. De principe binaire, on pourrait de loin l'assimiler au codage en morse, dont l'invention a permis aux radiotélégraphistes de détecter, perdue dans un bruit de fond important, une lettre de l'alphabet. Pour le codage dit numérique, ou « digital », employé sur

ces fameux disques, on a recours au principe « PCM », c'est-à-dire à Modulation d'Impulsions Codées (M.I.C.) un principe de codage dont l'origine remonte à Reeves (1937). Ce système de codage binaire basé sur des signaux « tout » ou « rien » doit être traité par trois procédés de base, soit l'échantillonnage, la quantification et le codage. A l'enregistrement, le signal analogique est soumis à un filtre passe-bas avant d'être traité par des circuits d'échantillonnage et de conversion A/D (analogue/

digital). Il en résulte un signal qui n'est plus formé que d'une succession de signaux semblables au morse, uniformément courts ou longs, qu'il est facile d'enregistrer, de graver ou de mettre en mémoire. La lecture est un peu plus délicate et demande, avant décodage, une correction d'erreur de lecture des signaux reçus. Après quoi le signal est soumis à un décodage D/A (digital/analogique) puis « nettoyé » à l'aide d'un filtre passe-bas, afin d'en retirer ce que l'on appelle en anglais « l'aliasing

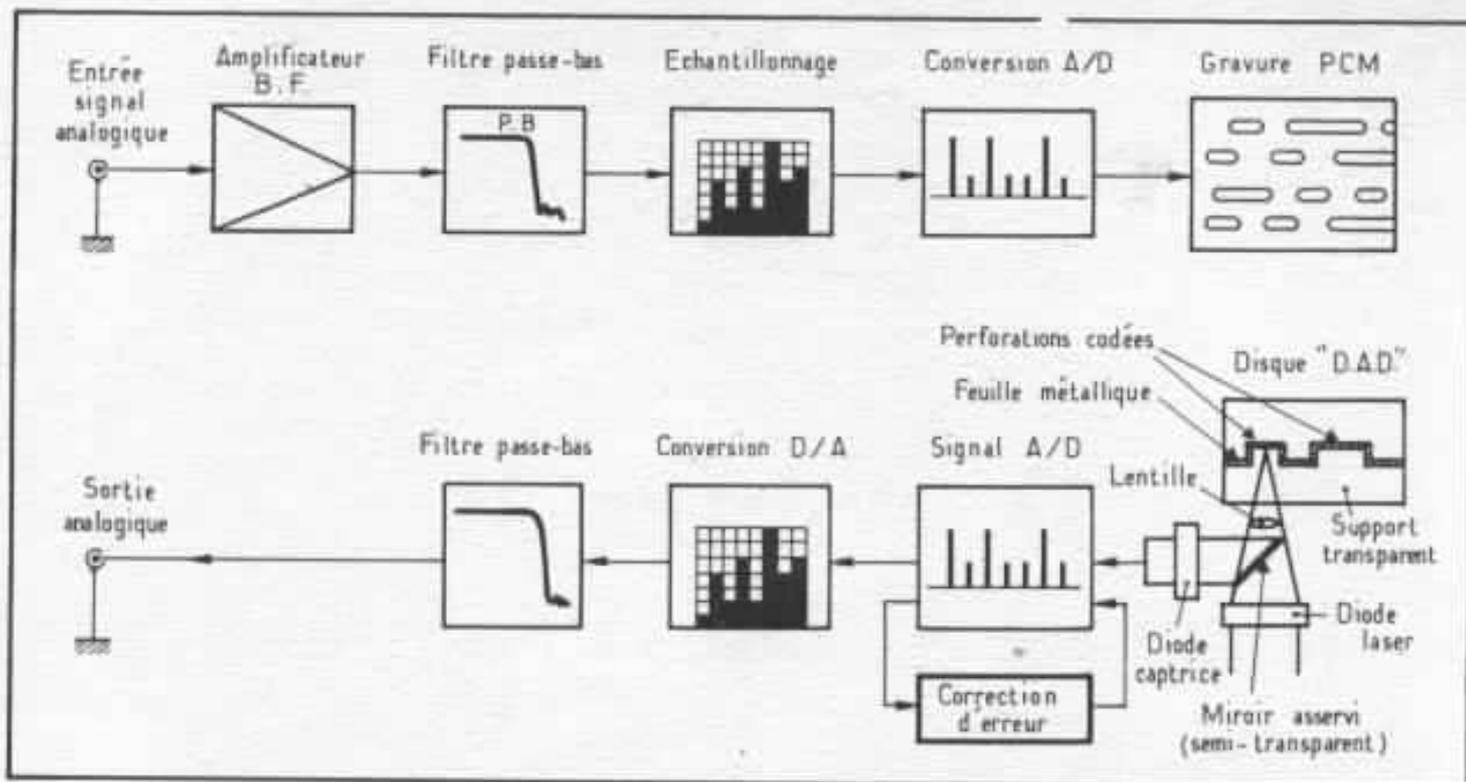


Fig. 1 : Principe du codage numérique.

noise ». Notons, ce qui est très important, l'emploi obligatoire de ce filtre à coupure extrêmement raide, utilisé en entrée et en sortie. Sa structure est de type Tchebycheff, proche de la figure 2, un filtre complexe apportant une coupure semblable à celle de la figure 3. A 20 kHz, le niveau de 0 dB passe à pratiquement -100 dB à 25 kHz. Valeur qui est nécessaire si l'on désire obtenir un rapport signal/bruit supérieur à 90 dB. La dynamique est exprimée par :

$$D = 10 \log_{10} S/B$$

(S = signal, B = bruit)

Le bruit « digital » obtenu correspond sommairement à la figure 4 (c), ce bruit étant réparti

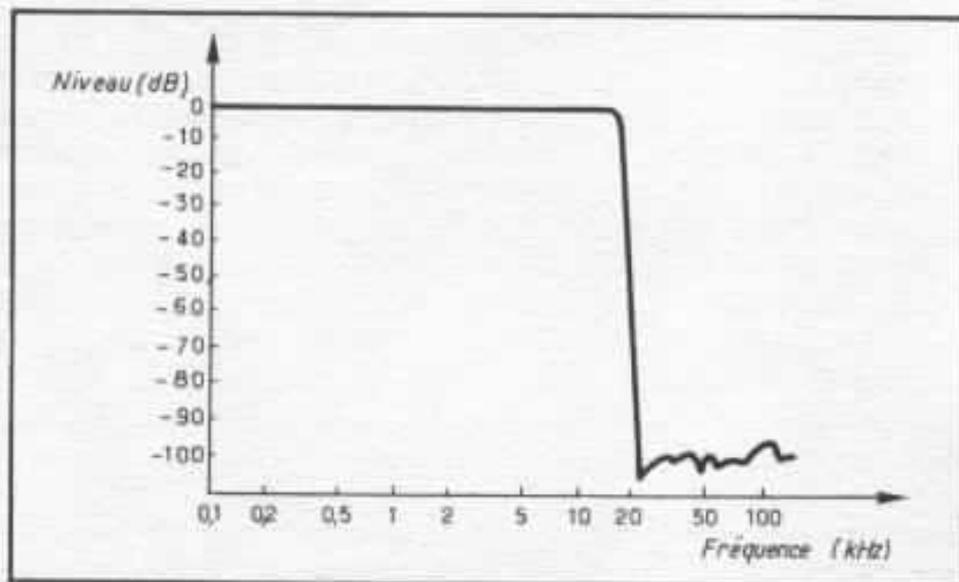


Fig. 3 : Filtre passe-bas semblable à celui de la figure 2. Remarquer la coupure extrêmement raide dès 20 kHz.

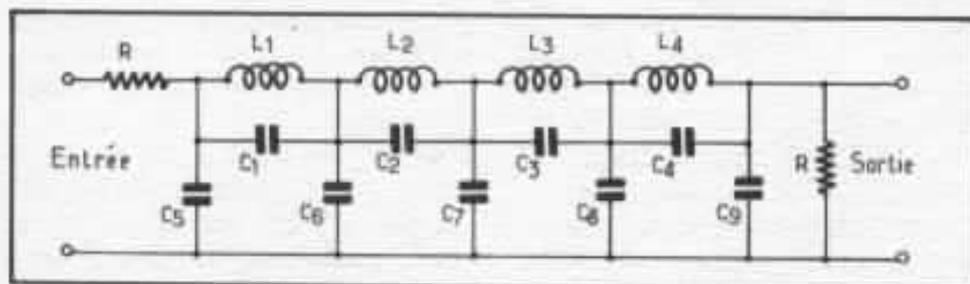


Fig. 2 : Filtre passe-bas de structure Tchebycheff.

entre  $-\Delta V/2$  jusqu'à  $+\Delta V/2$  et s'exprime par :

$$B, \int_{-\frac{\Delta V}{2}}^{+\frac{\Delta V}{2}} \frac{1}{\Delta} x^2 dx = \frac{\Delta V^2}{12}$$

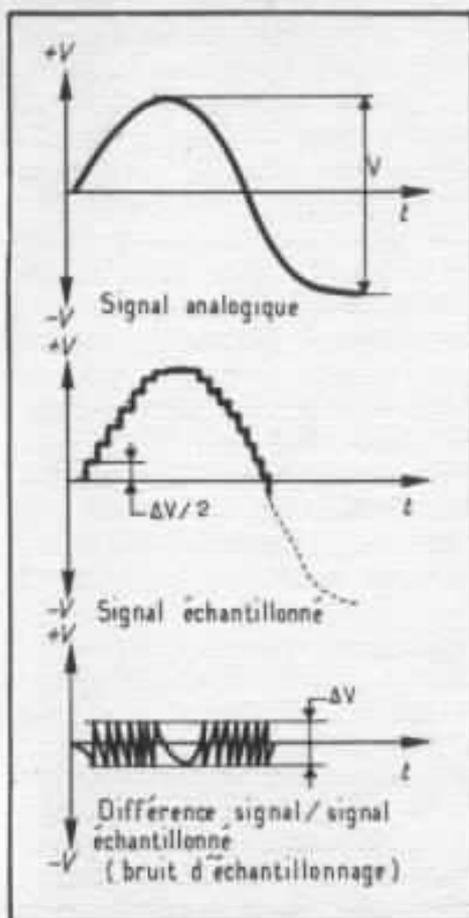


Fig. 4 : Bruit d'échantillonnage dû à la différence signal/signal échantillonné.

le signal S et le bruit résiduel B, étant équivalents à :

$$S = \left( \frac{V}{2\sqrt{2}} \right)^2 = \frac{V^2}{8}$$

$$\frac{S}{B_r} = \frac{V^2/8}{\Delta V^2/12} = \frac{3}{2} \times \left( \frac{V}{\Delta V} \right)^2$$

( $V/\Delta V$ ) permettant de connaître la valeur du nombre de « bits », ou impulsions, le mot Bit venant de **B**inary **d**igi**T**, soit :

$$\frac{V}{\Delta V} = N$$

N déterminant aussi l'amplitude maximale du signal.

Le rapport signal/bruit résiduel peut alors s'écrire :

$$\frac{S}{B_r} = \frac{3}{2} \times N^2$$

Si un échantillonnage à 16 paliers, soit  $2^4$  correspond à ce que l'on appelle codage « 4 bits », on s'aperçoit aussi que le codage en « bits » ne peut pren-

dre que certaines valeurs comme par exemple 8, 12, 14 ou 16 bits.

De ces formules, il est possible de déduire que, pour obtenir un rapport signal/bruit supérieur à 90 dB, un codage en 16 bits est nécessaire.

Un codage en 16 bits, celui qui sera sans doute le plus appliqué d'ici peu est en fait quelque chose de beaucoup plus précis, infiniment plus fin. Un codage de  $(1/2)^{16}$  correspond à 65 536 niveaux. Ce qui signifie que pour un signal de sortie de 1 V, l'échantillonnage s'effectuera par bonds de  $15 \mu\text{V}$ . En parlant uniquement de cet échantillonnage, il s'agit donc de quelque chose de très fin. Alors que, vu sur disque courant, un signal de 1 000 Hz sur oscilloscope, déformé par la distorsion de trace, de lecture, devient, sur quatre ou cinq carreaux, une trace de près de 2 mm de large, relativement instable en fréquence et en niveau, il serait normalement possible de reproduire sur une hauteur de 10 m, avec une finesse de trait inférieure au 1/2 mm le même signal sans y voir aucun « escalier », ou déformation d'échantillonnage. Cet « escalier » d'échantillonnage, représenté à une échelle visible de 1 mm par pas, devrait inscrire une sinusoïde sur une hauteur de 65 m, soit la hauteur d'un immeuble de 25 étages. Contrairement à ce que certains auraient pu supposer, le procédé de « découpe en rondelles » du signal est très fin. Pour une fréquence d'échantillonnage de 44,1 kHz, valeur qui sera adoptée sans aucun doute dans tous les pays, le signal de hauteur 65 m cité plus haut correspondrait à un défilement à la vitesse de 165 km/h.

Comme on le sait, la lecture des disques D.A.D. (Digital Audio Disc) s'effectue par procédé optique. Le disque, de diamètre 12 cm (une valeur qui deviendra un standard international, espérons-le) comporte sur

chaque face, une fine feuille d'aluminium protégée par une couche de 1,2 mm d'épaisseur, transparente et dont la surface est finement polie. La feuille d'aluminium comporte des perforations dont l'allure est proche de celle de la figure 5. Un faisceau laser, de largeur de 0,8 mm au niveau de la surface du disque est ajusté pour procurer un spot de diamètre  $1,5 \mu\text{m}$  sur la surface réfléchissante, comportant les microscopiques perforations. De largeur  $0,6 \mu\text{m}$ , espacées d'un minimum de  $0,87 \mu\text{m}$ , il devient possible de loger 575 perforations sur une longueur de 1 mm, ce qui est donc très serré. La vitesse maximum de rotation est de 458 tours/minute, la vitesse de défilement, constante, étant située entre 1,2 à 1,4 m/sec. Ceci procure les performances indiquées sur la figure 6, le tout étant contenu sur un disque de 12 cm de diamètre.

Les promoteurs de ce procédé « révolutionnaire » parlent de très nombreux avantages, dont principalement :

- amélioration de 30 dB ou mieux du rapport signal/bruit ;
- bande passante large et excellente linéarité ;
- pas d'usure prévisible ;
- possibilité de miniaturisation dans le futur proche ;
- bonne résistance, bonne tenue à la poussière, aux disques rayés, etc... ;
- pleurage/scintillation extrêmement faibles.

Un procédé de lecture qui serait destiné à remplacer le disque microsillon 30 cm 33 tours d'ici 10 ans.

Tout cela donne un bref aperçu de ce qu'est, ce que sera le disque « compact » numérique.

Mais les problèmes sont nombreux et il ne faut pas les négliger. Le prix de revient, par exemple, est plus élevé que ce qui était prévu au préalable, ce qui fait glisser ce produit vers un marché beaucoup plus restreint.

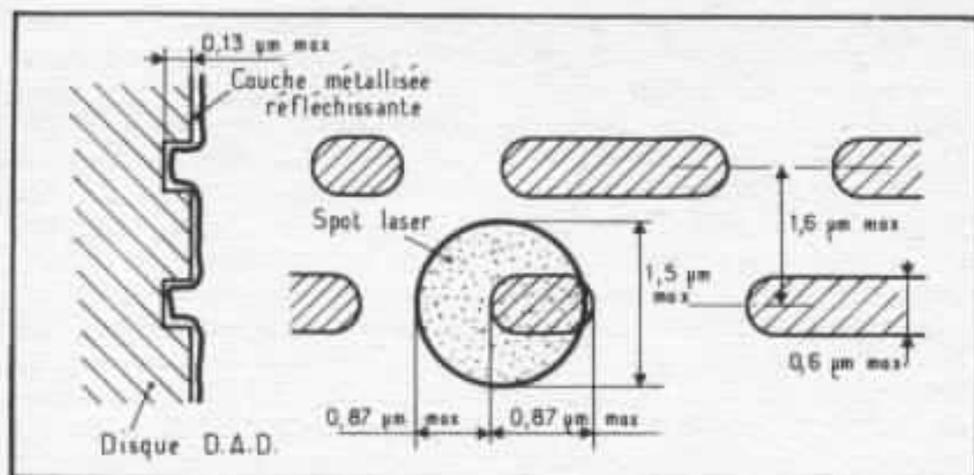


Fig. 5 : Disque D.A.D., côtés des perforations et dimensions du spot laser.

Déjà, au Japon, Pioneer, avec son procédé compatible audio/vidéo et ses disques « laser » de diamètre 30 cm omniprésents chez les revendeurs, a pensé à réaliser un lecteur dont le prix, déjà très bas (environ 4 500 F) va bientôt passer à quelques 3 500 F sur les versions semi-automatiques dites « économiques ». Il semble que la période la plus difficile, celle de la normalisation, de la standardisation du disque numérique soit dépassée. Rien qu'en 1980, plus de dix firmes internationales proposaient un « standard » : Sony, Matsushita, Mitsubishi, Toshiba, Columbia/Denon, JVC, 3M ainsi que des offices de radiodiffusion comme la N.H.K., la BBC. A ce jour, les constructeurs semblent enfin d'accord, à part de rares exceptions.

### M.A.D. (Musicians Against Digital) : « Human stress provoked by digital records »

Tel était, en mai 1980, le titre d'une conférence de l'AES qui avait eu lieu à Los Angeles. Cette conférence, dont la lecture était faite par le D<sup>r</sup> Diamond, un spécialiste du système nerveux, un spécialiste également de la musique et de son influence sur notre système nerveux, avait attiré beaucoup de monde. Après avoir dressé un bref tableau des diverses influences musicales sur le

comportement de l'être humain, le D<sup>r</sup> Diamond empiéta sur un sujet encore neuf pour l'époque : « Human stress provoked by digitalized recording », plus exactement « Stress dû à l'écoute des disques numériques ». Il s'agissait donc d'une conférence destinée à « démolir » ce procédé d'avenir. Alors que l'on aurait pu attaquer ce procédé en se basant sur des formules mathématiques, sur les séries de Fourier, que l'on aurait pu attaquer des questions d'erreur de lecture au décodage, d'effets subjectifs dus aux filtres, aux rotations de phase conséquentes ou bien à des considérations purement subjectives, le D<sup>r</sup> Diamond, lui s'y prenait tout à fait autrement. Devant une audience

importante et visiblement très intéressée, il demanda à une personne de monter sur la scène. Sur la scène, une chaîne hifi courante était installée, ainsi qu'un lecteur à disque numérique. Tout en faisant écouter un morceau de musique à partir d'un disque normal, il demanda à son invité de se placer près d'une enceinte et d'étendre un bras à l'horizontale, de le laisser tel quel pendant l'écoute. Au bout de quelques minutes, il démontrait que rien d'anormal ne se passait. En appuyant légèrement sur le bras comme pour le faire redescendre, le bras résistait, ce qui était également normal. Ensuite, il arrêta l'écoute du disque normal et passa à une lecture numérique.

L'invité tenait toujours son bras à l'horizontale. Au bout de quelques minutes, le D<sup>r</sup> Diamond montra à l'audience que le bras avait légèrement descendu. Quelques minutes encore et le bras était pratiquement redescendu, à la stupéfaction du public. L'opération recommença ; mêmes résultats. Le D<sup>r</sup> Diamond entraînait alors dans une fort curieuse théorie, évoquant les effets du son synthétisé sur le cerveau, sur le système nerveux, sur le stress, sur la fatigue auditive.

Cependant, pour quelques auditeurs, pour les ingénieurs

### Performances

Bande passante : 20 à 20 000 Hz ;  
Codage : 16 bits/lin/canal ;  
Dynamique : 90 dB ou mieux ;  
Diaphonie : 90 dB ou mieux ;  
Rapport signal/bruit : 90 dB ou mieux ;  
Distorsion : 0,05 % ;  
Pleurage/scintillement : non mesurable.

### Disque

Durée : 60 mn/face/canal ;  
Vitesse de défilement : 1,2 à 1,4 m/sec. ;  
Rotation : sens inverse des aiguilles d'une montre ;

Ecart moyen entre sillons : 1,6 µm ;  
Diamètre du disque : 12 cm ;  
Épaisseur du disque : 1,2 mm ;  
Trou central : 15 mm ;  
Plage perforée : 50 mm (premier au dernier sillon) ;  
Canaux : 2 ou 4 ;

Fréquence d'échantillonnage : 44,1 kHz ;  
Modulation : Eight to Fourteen Modulation (EFM) ;  
Correction de lecture d'impulsions : Cross Interleave Reed Solomon Code (CIRC) ;  
Bits/canal : 4,3218 bits/sec. ;

Figure 6 : performances et caractéristiques du disque DAD « Compact-Disc ».

avertis ou même concepteurs du disque numérique, tout cela paraissait un peu fort. En particulier pour les ingénieurs Toshi Doi (Sony), Takéo Yamamoto (Pioneer) et pour quelques journalistes venus de l'étranger. M. Doi demanda alors au D<sup>r</sup> Diamond de se prêter à la même expérience, et ce dernier finit par accepter.

L'expérience recommençait donc, mais, cette fois, à l'étonnement de tous, rien ne se passait, le bras de notre ingénieur Doi restant bien horizontal dans les deux cas. Sur quoi le D<sup>r</sup> Diamond parlait d'une influence possible de la montre bracelet de M. Doi, montre dont le quartz aurait pu « interférer ». Deux journalistes se prêtèrent alors à la même expérience et conclurent qu'il s'agissait d'un vulgaire « truc », d'une supercherie. A quoi on cria au scandale. Le fameux D<sup>r</sup> Diamond se fit huer par la salle ; on lui demandait de retourner au « cirque » pour continuer ses trucs. Le comité de l'AES se fit d'autre part sérieusement réprimander, chacun se demandant comment un tel intrus avait pu passer à travers les responsables de la sélection. De source bien informée, on apprit plus tard qu'il existait en effet aux USA un groupe (le « M.A.D. ») « d'anti-numériques », formé en partie de commerçants du disque 33 tours, pour qui l'avènement du disque numérique signifiait la ruine à brève échéance.

Cette petite histoire, malheureusement vraie, montre que les ennemis du disque numérique ne manquent pas. Pour un studio d'enregistrement se chargeant d'enregistrements, de gravure de disques 33 tours, l'équipement en matériel numérique représenterait un investissement colossal, tout à fait inabordable, du moins pour l'instant. Il est normal que l'on constate en conséquence de vives réactions de la part de nombreux professionnels, y

compris certaines peu honnêtes. Il est à prévoir que bien d'autres moyens sont et seront mis en œuvre pour tenter de détruire la technologie numérique.

En octobre 1982, plus de 10 modèles de lecteurs numériques sont en vente et même en construction en grande série. Mis à part Pioneer, tous ces constructeurs ont même fini par adopter le même standard, le standard Philips/Sony, le « Compact Disc ». En 1979, lors de la parution des premiers prototypes de lecteurs de disques numériques à l'Audio Fair de Tokyo, on parlait déjà d'une production en grande série deux ou trois ans plus tard, chose faite. Actuellement, les premières séries sont lancées. Philips et Sony en premier lieu, Toshiba avec le XR-290, Denon avec le CD-2000, Nec avec le CD-803, Sharp avec le DX-3, Sansui avec le PC-V1000, Onkyo avec le DX-5, sans parler des autres marques préparant elles aussi un lecteur au même standard. Le prix de ces appareils est, comme il avait été annoncé en 1979, de l'ordre de 4 500 F (au Japon), c'est-à-dire celui d'une table de lecture de qualité, située toutefois nettement en dessous du haut de gamme (en comparant les prix respectifs). D'ici un an, la production en série, l'emploi de circuits intégrés performants et moins onéreux, l'utilisation de diodes laser dont le prix sera devenu presque dérisoire ainsi que la concurrence en feront des produits dont le prix de détail deviendra encore plus abordable.

### Le pour et le contre

Il serait difficile de nier certaines qualités du disque numérique. Sur le plan du pleurage, de la scintillation, l'amélioration est spectaculaire, indiscutable. Il est d'ailleurs fort heureux que certains constructeurs de tables de lecture ayant adopté une régula-

tion du moteur se soient aperçu des améliorations subjectives dues uniquement à des différences de l'ordre de 0,01 à 0,02 % au niveau du pleurage ou de la scintillation. Sur le « Compact-Disc », ce taux de pleurage passe à une valeur pratiquement égale aux tolérances du quartz, c'est-à-dire au moins 10 000 fois inférieure à celui d'une table de lecture de haut de gamme. Ce point ne peut donc être discuté car il est évident qu'à une vitesse de rotation moyenne de plus de 300 tours/minute, un disque tournant, sans contact avec le lecteur, tourne beaucoup plus « rond », d'autant plus que le circuit de régulation devient cette fois très efficace.

Aux mesures, dont il est bon de se méfier toujours, on remarque néanmoins une amélioration spectaculaire, comme on peut le voir sur un analyseur de spectre par exemple (figure 7). Le disque de mesure numérique n'étant pas encore disponible, il serait par contre fort intéressant de voir ce dont le nouveau procédé est capable, notamment pour les fréquences supérieures à 15 kHz. Théoriquement, la distorsion, de l'ordre de 0,03 % devrait rester très basse jusqu'à au moins 15 kHz. Au-dessus, il faut noter que sur tout disque normal 33 tours, le taux de distorsion augmente très rapidement, en particulier sur les niveaux de gravure élevés et si l'on a recours à des pointes lectrices de forme conico-sphériques. Si l'on peut critiquer, du point de vue théorique, le procédé numérique pour les fréquences supérieures à 10 kHz, le système analogique est lui aussi sujet à des défauts très prononcés : décalages de phase, lisibilité, erreur de trace, diaphonie, problèmes d'usure du sillon, de la pointe lectrice, bruit de surface.

En 1981, on a même été jusqu'à extraire d'un disque, à l'aide d'un ordinateur recherchant le plus faible signal audio

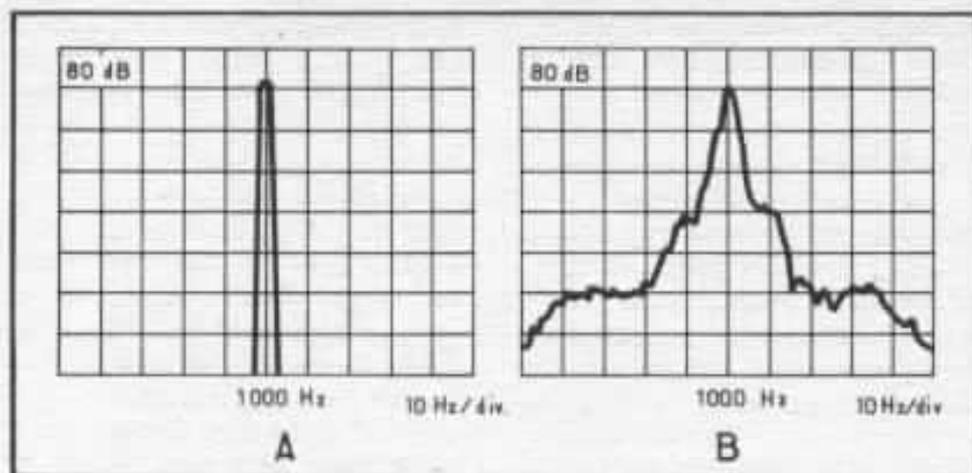


Fig. 7 : Signaux de 1 kHz reproduits par un disque D.A.D. « Compact Disc » (A) et par un disque de mesure, vus sur un analyseur de spectre.

caché dans le bruit, les plus petites informations transmises par un disque courant. En numérique, on obtenait une quantité impressionnante de détails supplémentaires, en particulier au niveau des harmoniques, du bruit « blanc » émis par une trompette.

Cependant, malgré toutes ces améliorations « spectaculaires », le résultat d'écoute est toujours un jugement décisif. En octobre 1979, lors des apparitions sur le marché des premiers prototypes de lecteurs numériques à l'Audio Fair de Tokyo, un stand attirait une foule monstre. C'était le stand Teac, l'un des seuls où le lecteur était non pas en exposition, mais en démonstration. Deux enceintes à haut rendement étaient reliées à un amplificateur à tubes, de réalisation amateur, de puissance  $2 \times 75$  W ainsi qu'à un préamplificateur, lui aussi à tubes. A la question première, faite aux démonstrateurs « pourquoi utiliser de l'électronique à tube amateur, au lieu de vos propres appareils transistorisés ? » La réponse de ces démonstrateurs n'était pas très convaincante : « Nous avons pris ces appareils au hasard ». Peut-être n'avaient-ils osé dire que certains amateurs étaient capables de réaliser des appareils à tubes aux performances fabuleuses, car c'était en effet le cas. Toujours est-il que c'est un genre de démonstration que l'on n'est

pas prêt d'oublier.

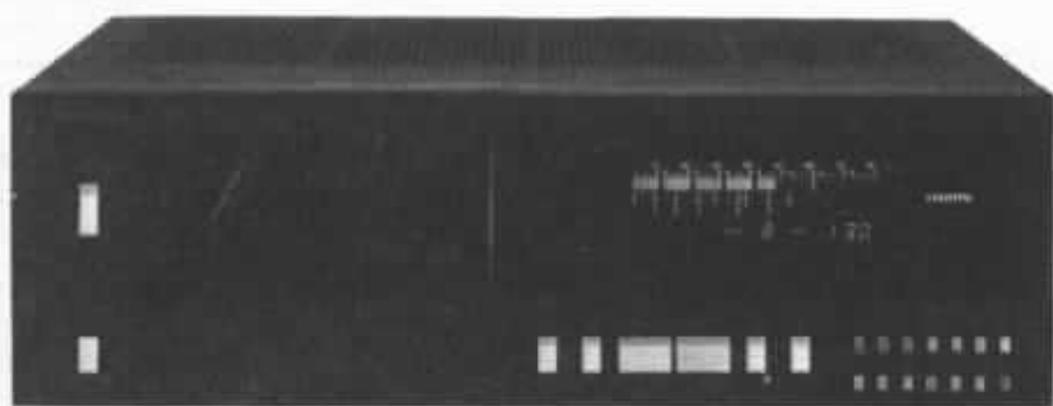
En général, on reconnaît immédiatement un son réel d'un son reproduit à plusieurs mètres de distance. De l'extérieur d'un restaurant, on peut reconnaître immédiatement si un piano, une trompette, une voix de chanteuse proviennent d'une enceinte ou s'il s'agit bien d'un son réel. Le contraire étant extrêmement rare. Dans ce stand Teac la trompette, la flûte, le piano, la percussion, enregistrés bien entendus en direct, et non via une bande magnétique, étaient non seulement d'une vérité, d'une finesse, d'un naturel à « donner froid dans le dos » mais ces sons étaient capables de « porter loin », ce sans perte de dynamique, sans perte de définition, chose beaucoup plus rare. De près, dans le silence, les résultats étaient encore plus impressionnants de vérité et de naturel. Rien ne semblait manquer et le plus étonnant était sans doute les percussions. De constater, dans l'extrême-grave, des mouvements de membrane que l'on ne rencontre jamais sur des systèmes à lecture analogique, en particulier pour ce qui concerne la stabilité, les attaques, le traînage, le dépassement.

Contrairement aux conférences du D<sup>r</sup> Diamond à l'AES, ces démonstrations étaient bien réelles. Cependant, les produits exposés, sous forme de prototypes intouchables, même pour les

journalistes ou les revues, auraient pu être, faute de preuves, basés sur des codages plus élaborés.

Le seul point curieux du système exposé était une durée de lecture limitée à seulement 10 minutes, ce qui était dû, selon les démonstrateurs, à des questions de machine à graver numériques, encore mal au point (ce qui est fort possible). Toujours est-il qu'après cette démonstration beaucoup d'autres faites plus tard, par d'autres constructeurs, dans d'autres pays, jusqu'aux plus récentes, se sont montrées bien peu prometteuses, et souvent médiocres. Enregistrement ? problèmes de décodage, de filtre passe-bas ? Sur les rares oscilloscopes affichant des fréquences reproduites par ces disques numériques, on a aussi noté parfois des irrégularités de forme d'onde inexplicables : micro-pics, résidus H.F., petites instabilités, plusieurs petits défauts, ou même gros défauts qui ne pourraient théoriquement pas être dus à des questions d'échantillonnage. Les filtres passe-bas, vu leur structure complexe, doivent certainement influencer la qualité subjective. L'insertion seule de ces filtres avant enregistrement et après le préamplificateur sur un système analogique ne pourrait pas passer pour inaudible, du moins sur une chaîne de qualité : leur complexité est trop grande. Du côté mécanique, du côté asservissement (celui-ci étant assuré par un petit miroir asservi) on a constaté déjà quelques problèmes, des pannes, des problèmes de vibrations demandant l'emploi d'une suspension sous le lecteur numérique.

Pour en venir à la question de la qualité subjective, citons pour anecdote, les disques analogiques, mais à gravure provenant d'un enregistrement numérique « PCM » de l'éditeur Japonais Denon. Les premiers eurent un fâcheux effet sur les audiophiles



Japonais. Ceux-ci leur reprochaient, malgré certaines qualités incontestables, un son « gommé », pauvre en harmoniques, pauvre en petits détails, bien que paraissant toujours très propre, surtout pour les sons proches. Dans l'ensemble, on reprochait surtout une certaine « rondeur », des transitoires légèrement « arrondis », défauts qu'il est difficile de contester, un bon disque en gravure directe étant incontestablement supérieur. Plus tard, Denon décidait d'améliorer son procédé PCM, ce qui donnait des disques cette fois nettement supérieurs, malgré la subsistance de quelques petits défauts, de quelques timbres bien particuliers à ce procédé. Chacun s'imagina alors que ce défaut était inhérent au procédé numérique. Or, lorsqu'en Europe, Decca, Telefunken lançèrent leurs disques PCM, on obtenait cette fois d'autres qualités, d'autres petits défauts incompatibles avec ceux constatés sur les premiers disques PCM Japonais. Dans le médium aigu par exemple, les différences étaient flagrantes. Constatations parmi d'autres qui permettent déjà de dire que le procédé par lui-même n'est pas le seul responsable. Autant le premier disque japonais PCM semblait « arrondi » un peu « étouffé », autant certains enregistrements d'origine allemande étaient clairs, précis, d'un impact à la limite de la dureté. Peut-être faudrait-il incriminer **non pas le procédé par lui-même, mais plutôt les circuits annexes** et indispensables ou peut-être les autres mécanismes électromécaniques d'asservissement, les circuits de contrôle et de rectification d'erreur de lecture. En effet, dans la réalité, notre sinusoïde de 1 kHz, de 6 m de haut, d'un tracé de 1/2 mm de large, qui aurait dû être parfaite à l'œil nu, même vue de très près est en fait un peu moins belle, puisque l'on peut constater quelquefois

des défauts sur un oscilloscope. Pour plus de précision, il faudra donc attendre la disponibilité de plusieurs de ces lecteurs numériques, être en possession de disques de fréquences pures afin de pouvoir effectuer des mesures précises sur analyseur de spectre, non seulement à 1 kHz, mais aussi à d'autres fréquences, et pour d'autres niveaux de lecture. Se prononcer d'une façon catégorique semblerait un peu prématuré, même si certaines démonstrations se sont montrées décevantes.

Sur tout système de reproduction de haut de gamme, il est très facile de trouver une combinaison de circonstances apportant un résultat d'écoute extrêmement pauvre ; ce qui ne doit pas pour autant signifier que chacun des maillons est médiocre, ou encore que le procédé analogique par lui-même est à mettre en cause ! Toujours est-il qu'une **seule démonstration**, en 1979, a pu démontrer que l'on pouvait aller très loin, bien au-delà des possibilités de la gravure directe, même lue à partir de la cire même.

Le gros problème est, comme pour certaines voitures, la différence constatée entre le modèle d'exposition et celui que l'on reçoit...

Par ailleurs, il ne faut pas oublier la question du bruit ambiant dans une salle d'écoute, de l'ordre de 60 dB dans un appartement d'une grande ville. Il ne faut pas oublier non plus la question très importante, du rendement des enceintes acoustiques et du niveau acoustique maximum pouvant être reproduit, de la question de la puissance des amplificateurs associés à ces enceintes, de l'effet de « tassement » évident du à l'emploi d'enceinte de bas rendement associée à des amplificateurs de puissance inférieure à 100 W. On ne doit pas oublier non plus une **question capitale, celle des microphones, dont le rapport**

**signal/bruit**, que l'on ne doit pas confondre avec le niveau acoustique maximum acceptable, ne dépasse pas 50 dB sur les meilleurs microphones professionnels du marché. Songeons qu'en appartement, même un disque numérique ne peut apporter un rapport signal/bruit supérieur à 50 dB, à condition que l'enceinte puisse supporter un niveau acoustique d'au moins 110 dB.

Du côté microphones, et même si les applications les plus récentes sont destinées à la sonorisation de qualité, on commence déjà à trouver sur le marché des microphones « PCM », à codage numérique, dont le principe nouveau permet d'obtenir un rapport signal/bruit de 90 dB, permet aussi à des microphones de ce genre, comme par exemple le Ramsa (département sonorisation de la firme japonaise Technics), de référence WM-8100, de supporter sans broncher des niveaux acoustiques de 154 dB, chiffres très impressionnants.

Qu'on le veuille ou non, l'avenir audio sera le digital. Toutefois les circonstances feront que l'on prévoit déjà un chevauchement de 10 ans entre les premières commercialisations du disque numérique et la fin définitive du disque microsillon. Après quoi **une évolution à un niveau supérieur de qualité deviendra une chose impossible** ou pratiquement, comme celle de la bande passante téléphonique, de l'image télévision couleur ou du son stéréo en modulation de fréquence. Mais il est aussi à prévoir que d'ici là, la chaîne hifi n'aura peut-être plus l'attrait d'aujourd'hui tant elle sera devenue un ustensile de tous les jours, comme le réfrigérateur ou la machine à laver..

Pour l'instant, et encore pour quelques bonnes années, l'audiophile « anti-numérique » ne devrait pas être déçu, car il est aussi à prévoir que les gravures directes, les « super-pressages »

analogiques, les microphones vont s'améliorer aussi.

JVC, par exemple, tout en proposant son système digital, a mis au point une tête de gravure dépassant très nettement tous les concurrents allemands ou américains.

On propose aussi des pâtes vinyliques hyper-silencieuses et des machines à graver de style « audiophile », munies de plateaux de plus de 250 kg. On retrouve ici une analogie avec le tube cathodique, qui devrait être remplacé un jour par d'autres

techniques (cristaux liquides, Led, etc.) mais qui, lui aussi s'améliore spectaculairement au niveau de la définition ou des couleurs, ce qui lui laisse, comme pour le disque 33 tours, quelques chances de survie.



**Page non  
disponible**

# On en parle

*Le public français est bien informé des nouveautés d'outre-Atlantique. Il l'est moins de ce qui se passe en Europe, principalement en Allemagne où le domaine du haut de gamme suscite l'intérêt de nombreuses jeunes sociétés. Le Salon de Düsseldorf qui s'est déroulé à la fin de l'été a été pour nous l'occasion de faire le point sur les activités d'outre-Rhin. Ce salon se déroulait sur deux sites géographiques distincts, Hifi Vidéo pour le matériel « grand public » et l'Hôtel Intercontinental pour le haut de gamme comme cela se passe également en France. Nous vous communiquons également, comme à l'habitude dans cette rubrique, des bons tuyaux et les mises au point de ces derniers mois.*

Hifi Vidéo est sans aucun doute le salon consacré à l'électro-acoustique le plus grand d'Europe. La manifestation occupe neuf halls. Le salon de Berlin a lieu en alternance tous les deux ans avec celui de Düsseldorf. Il est davantage consacré à la télévision et à l'électronique. Les stands sont immenses et les moyens mis en œuvre sont sans commune mesure avec ce que l'on peut rencontrer au Festival du Son (cinq fois plus petit que Hifi Vidéo). Plusieurs stands dépassent les 1 000 mètres carrés. Il faut savoir que les grandes marques n'hésitent pas à

dépenser jusqu'à trois millions de nos francs pour agencer leurs stands.

A quelques kilomètres du Nowea se trouvait le salon consacré aux « Esotériques » dans l'Hôtel Intercontinental. Ce salon était de taille comparable à notre salon de l'Hôtel Sofitel.

## **Hifi Vidéo**

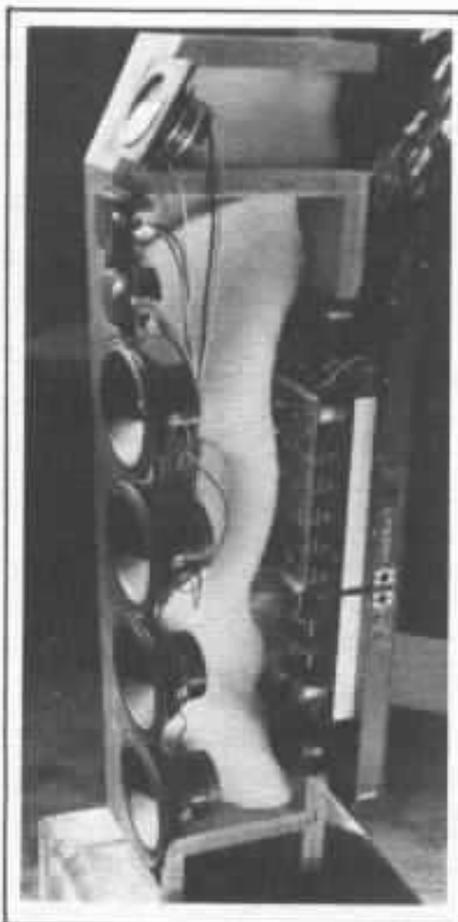
Nous n'aborderons pas la vidéo, celle-ci n'étant pas le but de notre reportage. Toutefois, nous signalons que l'accent était à la miniaturisation.

Hifi Vidéo 82 était le salon du compact-disc. Toutes les grandes

firmer avaient leur lecteur, et les démonstrations allaient bon train. Parmi les allemands, Saba avait choisi les haut-parleurs carbone (3IC Siare) afin de démontrer l'augmentation de dynamique apportée par le numérique. Les Anglais s'étaient rassemblés comme de coutume. Il était possible d'écouter la gamme complète des haut-parleurs Lowther, des enceintes Vitavox. Les Français étaient représentés par les sociétés Audax, Cabasse, Elipson et Siare. Cabasse faisant une démonstration brillante et Siare attirait les visiteurs par ses haut-parleurs carbone.

### Backes & Muller

Backes & Muller était la seule société allemande de matériel ésotérique à être présente au Nowea. Cette société créée par deux hommes, il y a cinq ans a vite grandi. Elle emploie aujourd'hui 30 personnes, signe qu'il existe des sociétés de matériel sortant de l'ordinaire ayant des tailles respectables. Ceci est d'autant plus intéressant que Backes and Muller n'a pas encore prospecté le marché export car son évolution rapide sur l'Allemagne l'a complètement absorbé. B.M. fabrique quatre modèles d'enceintes qui sont toutes multi-amplifiées. Mais la grande particularité de ces produits est le fait que tous les transducteurs sont asservis.



Il est à noter que cette compagnie fabrique elle-même ses électroniques ainsi que ses haut-parleurs. Le système d'asservissement est réalisé par effet capacitif. Il est impossible

d'adjoindre à un tweeter à dôme un accéléromètre car celui-ci perturberait le fonctionnement du transducteur par son poids. Chez Backes & Muller, on utilise un capteur qui n'influe en rien sur le déplacement du cône. Deux minuscules feuilles conductrices sont placées dans l'entrefer du haut-parleur, l'une collée sur la bobine mobile, l'autre sur le noyau. Les deux feuilles créent un condensateur. Lors du déplacement de la bobine, il y a modification de la capacité du capteur, qui est traduite par un circuit électronique en différence de tension, ce qui permet d'analyser le déplacement du cône et de l'asservir.

Le prix de ces enceintes ne sont pas prohibitifs si l'on tient compte du fait qu'elles sont déjà amplifiées : 4 000 F pour la plus

petite, la B.M. 3 qui est une deux voies, jusqu'à 25 000 F pour la plus grande la B.M. 20 qui est une cinq voies considérée comme une référence en Allemagne. Le son procuré par ces enceintes est très propre et très équilibré.

A noter qu'une salle avait été aménagée afin d'entendre plusieurs systèmes considérés comme des références alimentées par des sources numériques, et qu'il était possible d'effectuer toutes les comparaisons souhaitables. Un hall était réservé à l'institut allemand d'électro-acoustique. Teldec présentait son nouveau système de gravure de disque Direct Metal Mastering. Ce nouveau procédé a l'avantage d'abaisser de plusieurs décibels le bruit de fond d'un disque, et d'en augmenter la dynamique (cf l'Audiophile n° 25 rubrique « On en parle »).

### Intercontinental

La manifestation de l'hôtel Intercontinental occupait tout un étage, les écoutes étaient de qualité. Afin de ne déranger personne, les démonstrations étaient réalisées en alternance entre les auditoriums contigus.

Avant d'entrer dans les détails, signalons la présence de trois marques françaises dans cet hôtel : Le Tallec avec ses deux platines, Triangle avec sa C2X et Profil avec ses petites enceintes.

Trois appareils intéressants chez les japonais, un bras de lecture Toho avec la possibilité de choisir parmi une dizaine de tubes de matériaux différents : l'aluminium, le bois, le jade, le bambou etc. Une platine tourne-disque Melco ayant un plateau de 35 kg, avec la possibilité d'utiliser 3 bras, l'entraînement se fait par fil, et l'ensemble pèse 80 kg. Un tweeter Audionote à chambre de compression fort bien réalisé.

### Audio Exklusiv (D)

Cette société présentait plusieurs appareils hors du com-

mun : des enceintes électrostatiques sous forme de panneaux, fonctionnaient avec un



caisson de basse muni d'un 20 cm électro-dynamique à grande elongation. Un préampli et un amplificateur superbement finis. Le préampli possède une entrée bobine mobile et un contrôle de gain sur chaque voie.

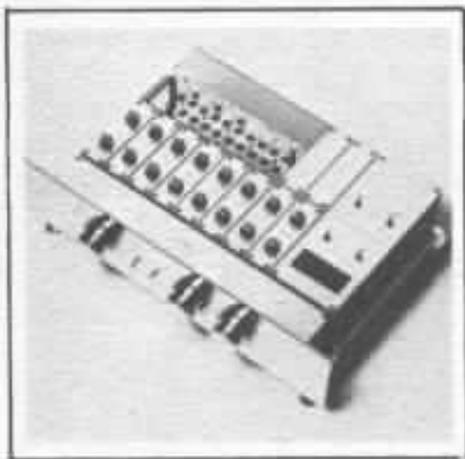
#### Audiolabor (D)

Une platine tourne-disque à entraînement par courroie, le moteur est placé à l'extérieur. Elle est suspendue sur trois



#### Burmester (D)

Deux préamplis qui dépassent en finition tout ce qui a été réalisé. Leur utilisation permet toutes les configurations possibles. Les châssis sont chromés, les circuits imprimés sont superbes. Sur le 785, les entrées phono sont réglables avec la possibilité d'ajuster les gains par rapport aux autres entrées. Sur le 808 les entrées bas niveaux sont sur circuits enfichables avec gain réglable



L'amplificateur est en classe A à basse puissance, puis en classe AB.

Une platine tourne-disque avec un plateau en vinyle usiné et un socle en marbre reconstitué, l'entraînement est par courroie.

pieds. Il est possible de l'équiper de trois bras.

Un préamplificateur avec entrée bobine mobile et un amplificateur de  $2 \times 150$  W sur 8 ohms : ES-200.

ble (MC de 0,1 mV à 1,5 mV et MM de 0,8 mV à 100 mV).

Un voltmètre numérique est placé sur le dessus du préampli, il permet le calibrage. Un générateur sinusoïdal est, bien entendu, inclus dans les circuits. Nous avons remarqué de nombreux circuits intégrés dans la réalisation de ces préamplificateurs. Espérons que la musique qu'ils procurent est aussi belle que la finition de ces appareils.

#### Audioplan (D)

Une série de petites enceintes équipées d'un boomer à membrane bextrene, et d'un tweeter à dôme souple de 25 mm. Le rendement est de 85 dB/1 W/1 m.

#### Data Akustic (D)

Une platine tourne-disque suspendue sur champ magnétique, un pré-préamplificateur pour cellule à bobine mobile.

#### Belles (USA)

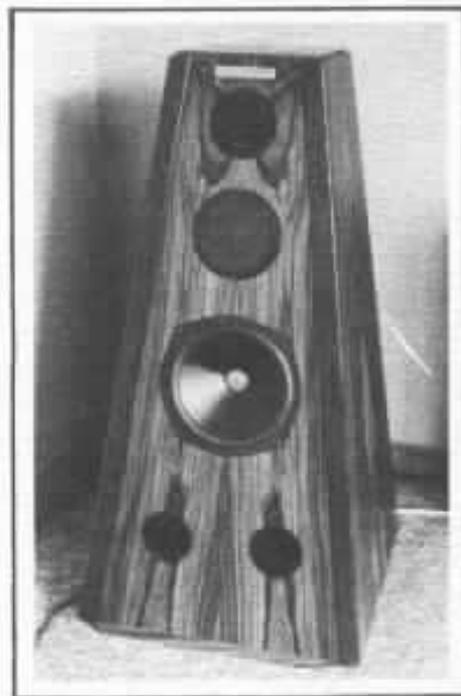
Belles Research est une société américaine qui fabrique un amplificateur en pure classe A, la puissance est de  $2 \times 70$  W sous 8 ohms,  $2 \times 120$  W sous 4 ohms, distorsion inférieure à 0,04 % à pleine puissance, slew rate : 35 V par microseconde, et une bande passante de 1 à 100 000Hz.

#### Définition (S)

Un préamplificateur ayant une entrée bobine mobile. Ce préampli est équipé d'un petit amplificateur classe A pour écoute au casque. Il est possible d'agir sur un correcteur de phase afin d'optimiser l'écoute de bande magnétique (information du constructeur). Tous les circuits sont noyés dans l'époxy. Les entrées sont réglables en niveaux.

#### Vernissage (D)

Trois amplificateurs en pure classe A :  $2 \times 50$  W,  $2 \times 100$  W et  $2 \times 200$  W. RMS sur 8 ohms. Une enceinte acoustique équipée d'un tweeter équiphase, du célèbre Medomex 15 dans le médium et d'un boomer de grand diamètre à forte elongation. Une des plus belles écoutes de ce salon.



## Du Japon

Shibasoku, c'est une firme spécialisée dans la mesure B.F. Plusieurs appareils très performants dans leur gamme étendue mais le plus impressionnant est leur dernier distorsiomètre automatique à microprocesseur incorporé. De référence 725, il possède des circuits éliminateurs de bruit, des circuits extracteurs de signaux, eux-mêmes confondus dans le bruit. Ce qui permet une lecture de distorsion entièrement automatique jusqu'à des niveaux de -100 dB, soit 0,0001 % à pleine échelle. Cet appareil est complété de filtres, de sélecteurs harmoniques (H<sub>2</sub> à H<sub>5</sub>) et d'autres gadgets rendant la mesure simple et ultra-précise.

En hifi et dans ce que l'on appelait autrefois le « bas de gamme » on trouve cet automne sur le marché japonais des maillons ne manquant pas d'intérêt.

Alwa présente un égaliseur graphique avec analyseur de spectre incorporé, dix fréquences pour seulement 35 000 yens (environ 850 F), une table de lecture automatique AP-M3 pour 25 000 yens (660 F environ).

Chez Technics, dans le « bas de gamme », les chaînes complètes de la série « EXE », les séries Stage Master chez Trio Kenwood aux esthétiques d'avant-garde, aux rapports qualité/prix remarquables. Ces chaînes complètes, dont le prix total est compris entre 3 000 F et 5 000 F ne sont pas pour autant composées de maillons médiocres : tweeters à ruban, membranes en fibre de carbone, en titanium, cellules à bobines mobiles, lecteurs de cassettes à mémoire, circuits amplificateurs puissants (70 à 120 W) et sophistiqués.

Où est donc le bas de gamme ?

Pour le disque numérique compact, près de dix constructeurs proposent enfin le même

standard et le prix de ces lecteurs de disques « compact-disc Digital Audio » se situe aux alentours de 4 500 F. Denon faisait

remarquer en présentant leur lecteur compact-disc 2000, qu'il s'agissait de leur 10<sup>e</sup> anniversaire du disque PCM. Déjà !

## Le point sur le système Audiophile

Les lecteurs sont un peu perdus en ce qui concerne l'évolution du système Onken Mahul (caisson Onken avec 416, médium Audax HD 17 HR 37 et tweeter Fostex T 925) décrit dans les numéros 10 et 18. Depuis, nous avons beaucoup travaillé sur la voie médium de manière à trouver des solutions plus en rapport avec les moyens mis en œuvre dans le grave et l'aigu. Le médium Lowther PM6 constitue d'ores et déjà une solution du plus grand intérêt, à notre avis la meilleure approche actuelle

avant le pavillon et la chambre de compression dont le coût atteint des valeurs élevées dès lors que l'on désire en faire une application haute fidélité (pavillon Iwata Guigue et moteur JBL 2441).

Par ailleurs, nous avons proposé d'autres alternatives au volumineux caisson de grave Onken. Nous regroupons dans le tableau ci-après les différentes solutions.

Le filtrage peut être actif ou passif suivant les éléments choisis avec, toutefois, des impératifs qu'il est conseillé de respecter dans certaines configurations.

	Volume	Diamètre HP	Référence HP	Article de l'Audiophile
GRAVE	360 l	38 cm	Altec 416-8C	n° 2, 26 Onken
	150 l	30 cm	Altec 414-8E	n° 25 Petite Onken
	70 l	33 cm	Audax 33S66	n° 23 —
	70 l	26 cm	Focal 10C01*	n° 26 Mini-Onken
MEDIUM	Audax HD 17 HR 37 TSM traité Lowther PM 6 Moteur JBL 2441 + pavillon Iwata Guigue*			n° 10, 18 — n° 21
AIGU	T.925			n° 8, 10, 18
FILTRAGE	Passif Actif*			n° 10, 18 n° 6, 24

\* Multi-amplification très vivement recommandée, voire indispensable.

## Electrolube

Ce produit, d'origine anglaise, a su faire ses preuves sur plus de 20 années. Il s'agit d'une huile spéciale auto-conductrice possédant trois fonctions : lubrification contre la corrosion, rétablissement des mauvais contacts et suppression des micro-arcs au moment de la coupure des circuits. Cette huile qui a, entre autres, les qualités lubrifiantes des huiles fines était autrefois présentée sous forme de bombe aérosol. L'inconvénient majeur était « d'en mettre partout », y compris sur les parties devant rester bien isolantes. Pour des supports de tubes en stéatite, l'effet était catastrophique (remplacement obligatoire du support en question). A présent, l'Electrolube se trouve sous forme de stylo muni d'une tige extensible très fine. Ce stylo a, cette fois, accès partout et l'huile n'est mise qu'aux endroits nécessaires, c'est-à-dire sur les parties conductrices, les contacts : prises Cinch, contacts de relais, axe de potentiomètres (les crachements proviennent à 80 % de cet endroit). Très peu d'Electrolube suffit et un seul traitement suffit pour procurer les avantages en question. Subjectivement, les améliorations sont très nettes, surtout pour les prises Cinch que l'on a préalablement nettoyé. Les sons sont plus propres, l'aigu « file » beaucoup plus haut. Quant au stylo, il est particulièrement bien conçu, l'huile ne sortant que très lentement. Cette formule Electrolube fait fureur au Japon parmi les audiophiles. Gros avantages de l'Electrolube : il ne s'agit pas d'une huile isolante chargée d'une poudre conductrice, mais bien d'une huile auto-conductrice, d'où sa fiabilité reconnue dans l'industrie du téléphone, dans les relais et contacts électriques divers.

Le coût du stylo : 40 F environ.

## Retour à l'AT-666

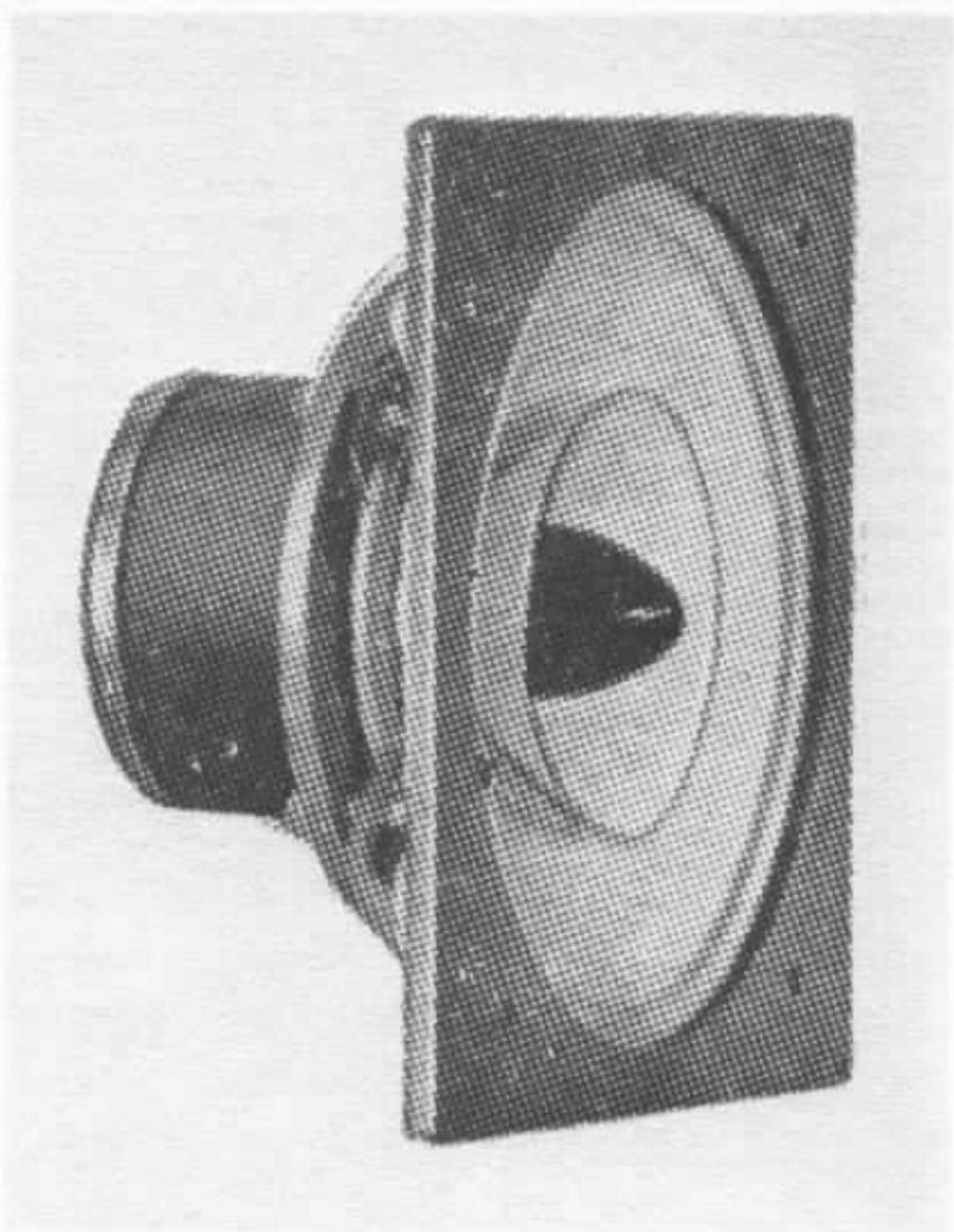
Nous avons parlé de ce superbe accessoire dans notre numéro 24. Depuis, nous l'avons intégré à notre système et, à vrai dire, il nous est impossible de nous en passer. Ce couvre-plateau aspirant apporte en effet sur le plan de l'écoute un plus considérable. Pourtant, il n'est pas sans quelques défauts. En effet, après plusieurs mois d'utilisation, nous avons constaté un désagrément très ennuyeux : certains vinyles supportent très mal le vide et la face non lue du côté plateau lors de la lecture, « s'encrasse » irrémédiablement et cela même en prenant d'extrêmes précautions, c'est-à-dire en nettoyant scrupuleuse-

ment le plateau et la face non lue du disque. Francis Albou, notre critique de disques, musicien et mélomane, possédant une magnifique discothèque dont certains enregistrements très rares, en a fait également la triste constatation. Après divers essais de toutes sortes, il en est arrivé à la solution suivante : placer une fine couronne de plastique souple genre vinyle utilisé pour protéger les nappes entre le couvre-plateau et le disque et cela uniquement sur la partie gravée dans la zone où s'effectue la mise sous vide. Cette solution semble donner de bons résultats. Nous vous la livrons en attendant de trouver un remède plus rationnel.



## Le haut-parleur Lowther PM-6

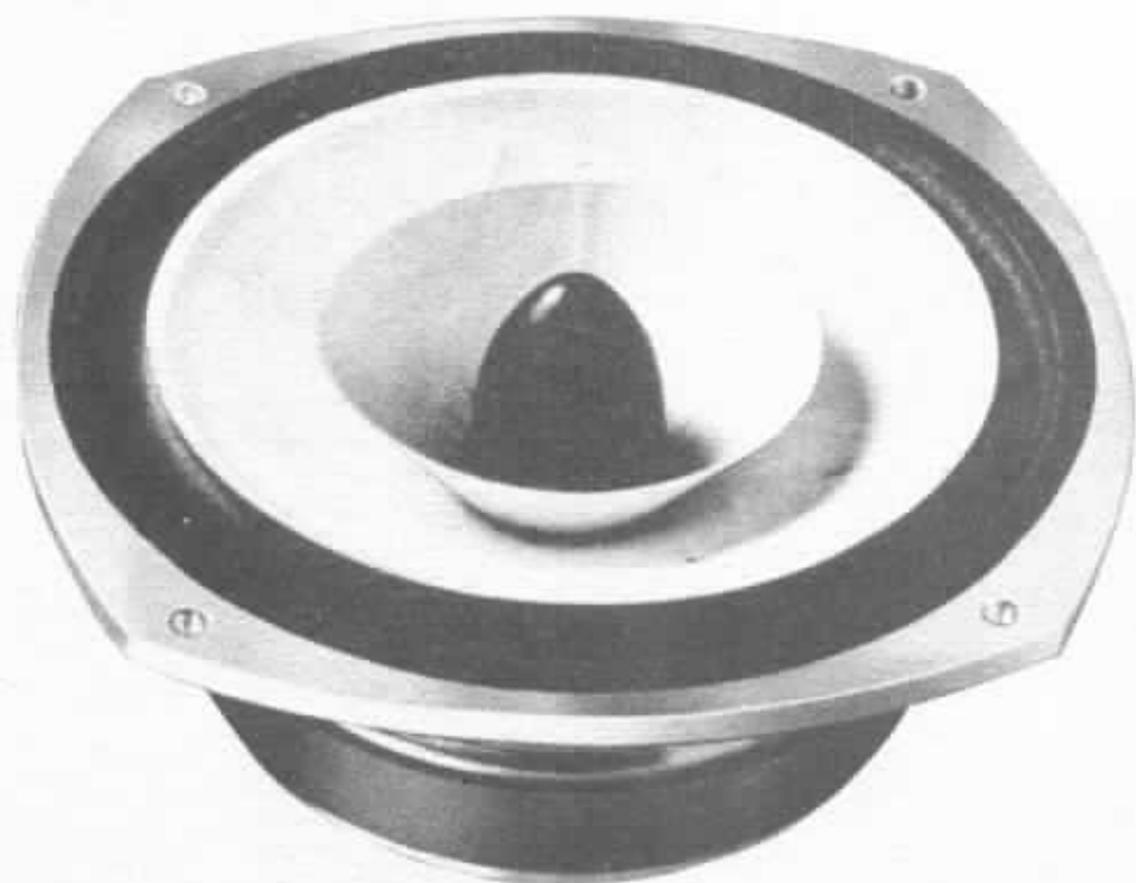
Les haut-parleurs ayant su tenir le marché mondial de la haute fidélité durant plus de 20 ans, sinon plus, sont rares. Ils se compteraient peut-être sur les doigts d'une seule main. Lowther en fait incontestablement partie. Le PM6 est un des modèles d'une série de haut-parleurs large bande de diamètre 20 cm, lesquels se différencient les uns des autres par la structure du moteur, l'ogive centrale ou bien par le type de bobine mobile. Actuellement seuls trois modèles seraient fabriqués, le PM-2, le PM-4 et le PM-6, ainsi que quelques fabrications spéciales destinées surtout au Japon (PM-4, PM-6-MK1). En France, seule la version PM-6 est disponible. Autrefois, c'est-à-dire aux alentours des années 60/70, le PM-6, dont la membrane est restée la même depuis, possédait un châssis en fonte d'aluminium à face carrée, ainsi qu'une bobine mobile d'impédance 15  $\Omega$ . La fréquence de résonance était de 60 Hz, l'aimant en couronne en alnico et le rendement moyen en dB/W de l'ordre de 102 dB. Ce haut-parleur large bande était basé sur les travaux de P.G.A. Voigt, un des pionniers de l'électroacoustique, en particulier dans le domaine des haut-parleurs, des aimants. Dès 1934, ses travaux lui avaient permis d'obtenir des densités de flux énormes, doit plus de 30 000 gauss (30 Tesla). C'est sur ces travaux, ainsi que sur ceux des membranes fines à génératrice rectiligne, sur l'optimisation des haut-parleurs large bande à simple cône ou bicône que naissait la famille des haut-parleurs Lowther. Dans tous ces haut-parleurs, plusieurs points communs dont, bien sûr, la qualité subjective. D'abord, une membrane dont l'aspect n'a jamais changé depuis plus de 30 ans. De



*La version ancienne du PM-6.*

couleur presque blanche, très fine, de diamètre 15 cm, elle est sans doute la seule qui ait conservé la méthode « antique » du collage radial, à partir de feuilles planes. Alors qu'il aurait été très facile d'employer des membranes pressées, de formes diverses, l'obstination de Lowther sur ce point pourrait signifier des avantages incontestables grâce au « Know-How » étendu sur plusieurs dizaines d'années. Le second point commun est l'emploi d'entrefers étroits, d'aimants puissants et de densités de flux importants, soit entre

17 000 gauss et 28 000 gauss (1,7 à 2,8 Tesla), ce qui contribue à beaucoup de qualités (efficacité, réponse transitoire, amortissement, distorsion). Le troisième est l'emploi de la membrane bicône et d'une ogive centrale, dans le but d'en faire des haut-parleurs large bande possédant néanmoins une très bonne caractéristique de directivité. On doit remarquer ensuite que tous ces haut-parleurs sont munis d'un châssis en fonte d'aluminium massif et rigide, ce qui est un élément de qualité dans tout haut-parleur de haute fidélité.



*Version actuelle du PM-6.*

Le PM-6 actuel se différencie de la version originale (laquelle n'a pratiquement jamais été introduite en France, sauf aux alentours des années 60-65) par quelques détails. La membrane est restée presque similaire, à génératrice droite et collage radial, mais avec des corrugations, découplages mécaniques, placés non pas de façon concentrique mais en portions de spirale (technique que l'on trouvait aussi autrefois sur quelques haut-parleurs français, anglais ou japonais). La membrane, toujours de diamètre 15 cm est, cette fois, munie d'une suspension de type « free edge » en demi-tube concave, ce qui porte l'équipage mobile, pesant 12 g, à une fréquence de résonance de 40 Hz. Soit un abaissement de près de 20 Hz, dû aussi à l'emploi d'un spider particulièrement bien conçu, c'est-à-dire

souple mais aux forces de rappel bien linéaires en fonction d'un déplacement raisonnable. Lowther donne une marge de 1 mm. En fait, un déplacement total beaucoup plus large mais sans doute moins linéaire est possible. Le spider est de très petit diamètre, en papier pressé, aux corrugations profondes. Le saladier (châssis) de face carrée sur l'ancienne version, prend une forme plus arrondie et il reste, heureusement, en fonte d'aluminium.

L'aimant devient de la ferrite, plus exactement du Feroba II (structure anisotropique). La plus grande compliance d'une part, le remplacement de l'aimant d'autre part, ont pour inconvénient de réduire quelque peu l'efficacité qui passe à 94 dB/m/W selon Lowther. En réalité, les mesures montrent que

l'on se situe vers 96 dB/m/W, du moins pour les fréquences supérieures à 500 Hz environ. La densité du flux dans l'entrefer atteint 17 000 gauss (1,7 Tesla), valeur remarquablement élevée pour un moteur à aimant ferrite, due, sans doute, à l'emploi d'une ferrite à structure homogène et orientée.

#### **Courbe de réponse**

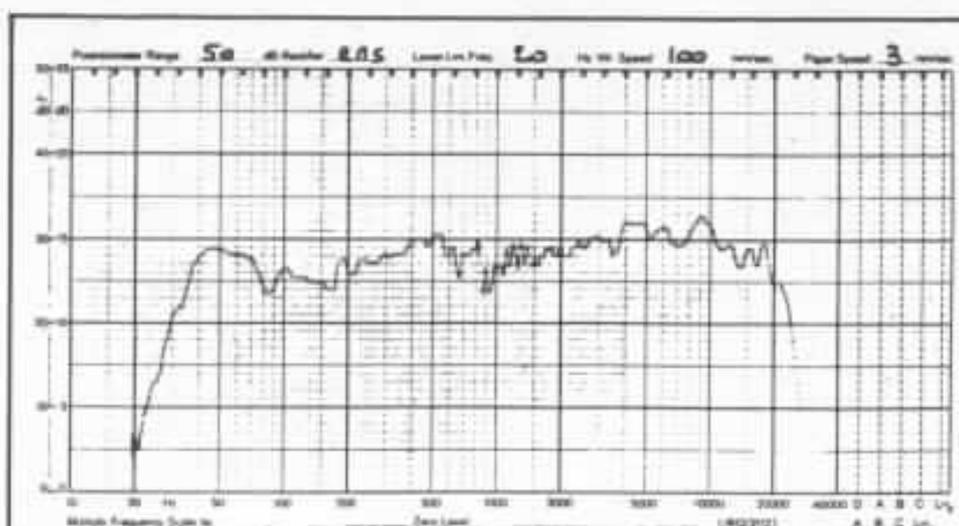
Sur le PM-6, la courbe de réponse est assez curieuse et mérite quelques remarques. Elle est loin d'être linéaire mais, à l'opposé, les résultats subjectifs sont eux, loins d'être passables. Sur baffle plan standard, la caractéristique niveau/fréquence est relativement linéaire entre 100 et 1 000 Hz. On note ensuite une résonance importante à 2 100 Hz, due à une résonance du petit cône central, ainsi qu'à une résonance parasite entre les

deux membranes du bico. Entre 3 kHz et 9 kHz, la courbe est montante. En ne tenant pas compte des résonances et anti-résonances importantes, on peut assimiler l'allure générale comme une courbe régulièrement montante entre 500 Hz et 10 kHz, l'écart total voisinant 10 dB. A 30°, on obtient une assez bonne linéarité jusqu'à 7 kHz (ce qui est rare). A 60°, la courbe descend régulièrement à raison de 4 dB/oct. environ, à partir de 1 kHz.

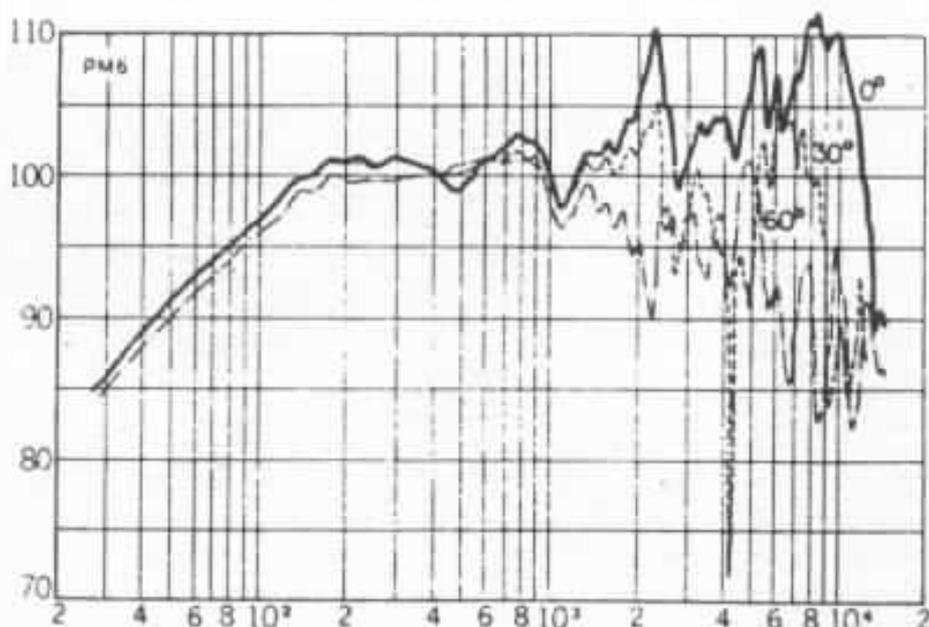
Le courbe « montante » par elle-même ne doit pas être prise ici comme un gros défaut. On a, en effet, affaire à un cône droit et non exponentiel, lequel est confectionné à partir d'un papier fin, assez pressé, à fibres longues. Il s'en suit des irrégularités évidentes au-delà de 1 kHz. Employé tel quel, le PM-6 est un peu trop « clair » bien que peu désagréable. Monté seul, sans tweeter, chargé dans le bas par un pavillon replié (principe adopté par de nombreuses enceintes Lowther), l'équilibre est assez bon et les résultats sont excellents. Utilisé dans le médium, un bon couplage est moins évident : médium aigu trop en avant, difficulté conséquente de couplage avec le tweeter. A niveau normal, le bas du tweeter est masqué par l'excès de niveau du PM-6. En ajustant le niveau du tweeter à celui du PM-6 le niveau d'aigu est trop important et tout l'ensemble se déséquilibre vers le haut.

#### Améliorations et adaptation du PM-6 en trois voies

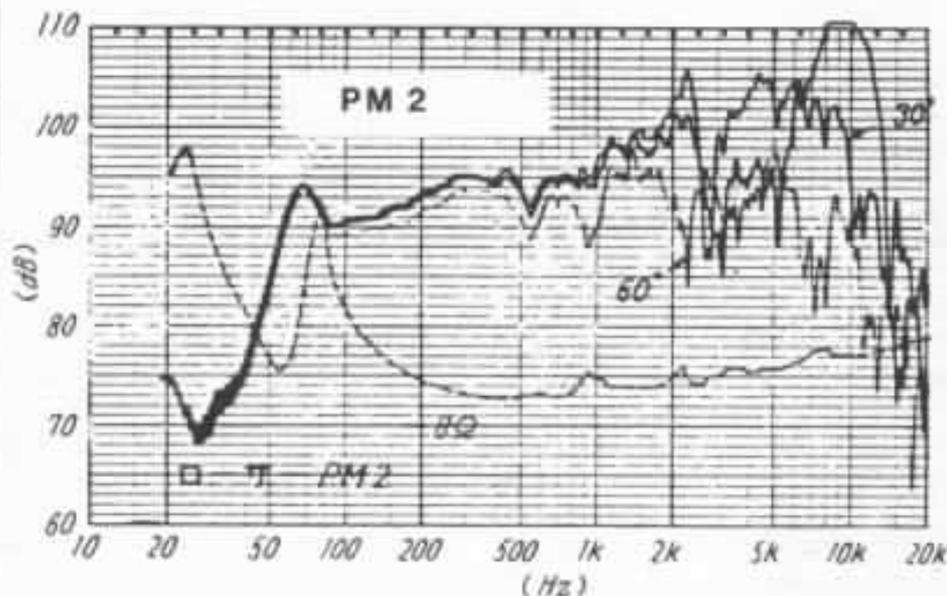
Le montage dans un caisson bass reflex est incontestablement inférieur au caisson à face carrée, ouvert à l'arrière, notamment sur le plan de la coloration et de la dynamique. Le caisson étant ouvert, ses dimensions ne sont plus très critiques. Parois Nantex ou aggloméré 25 mm d'épaisseur, face avant carrée de



Courbe de réponse de l'ensemble Onken - PM-6 - Fostex T-925.



Courbe de réponse du PM-6 ancienne version.



Courbe de réponse du PM-2.

250 × 250 mm, profondeur 300 mm environ, l'intérieur étant amorti par du moleton (entièrement, laine non tassée).

La pointe située à 2,1 kHz, gênante car obligeant à baisser de trop le niveau général du médium (ce qui rend la zone 500-1 000 Hz un peu faible), peut être supprimée. Il suffit pour cela de réduire le diamètre du petit cône. On découpe une couronne de 1 cm, après avoir fait un tracé au crayon. A l'aide de petits ciseaux, l'opération est facile. Ensuite, il faut insérer entre les deux membranes de la mousse de 0,8 cm d'épaisseur,

non tassée, afin de combler l'espace entre les deux cônes. Prendre de préférence de la mousse plastique, l'entrefer n'étant pas protégé des poussières. Cette modification réduit de 6 à 7 dB la résonance parasite à 2,1 kHz.

Dans le haut du spectre, « l'aplatissement » complet de la courbe n'a pas donné de bons résultats sans doute pour des raisons de directivité, d'énergie rayonnée totale. Le meilleur résultat a été obtenu en montant en série, en correction passive, deux selfs de 0,20 mH. Subjectivement, le PM-6 devient alors un haut-parleur rivalisant facilement avec les chambres de com-

pression, à des pavillons de qualité. On obtient à la mesure une excellente linéarité et les couplages caisson Onken-Jensen/PM-6 tweeter Fostex T 925 se « fondent » particulièrement bien. Le couplage caisson grave/PM6 est, par ailleurs, beaucoup moins critique que si l'on avait affaire à un pavillon. On pourrait donner pour explication le fait que la résonance grave du PM-6 est très basse comparative-ment à un moteur à chambre de compression dont la résonance se situe, elle, entre 200 et 350 Hz. Malgré une coupure située entre 500 et 600 Hz, ce paramètre semble important dans la facilité des réglages.

## Réglage d'un système tri-amplifié

Même avec le meilleur talent qui soit, il ne serait pas possible de parler succinctement, dans tous ses détails, des réglages des trois voies actives d'un système tri-amplifié. On peut, cependant, fournir quelques détails ou apporter quelques conseils qui pourraient éclairer les amateurs embarrassés par ces réglages parfois délicats. Beaucoup de choses à savoir en premier lieu :

— La facilité des réglages dépend beaucoup de la courbe de réponse, non filtrée, de chaque haut-parleur.

— Certains haut-parleurs, bien équilibrés pour un certain niveau sonore, se déséquilibrent dès que l'on passe à un niveau acoustique supérieur ou inférieur.

— Les réglages dans un système comprenant deux ou plusieurs chambres de compression sont plus délicats que ceux utilisant des haut-parleurs courants.

— Un pré-appairage des niveaux respectifs facilite énormément le travail : appairage du niveau général gauche/droite de faible et haut niveau ; appairage et réajustage de l'efficacité des haut-parleurs, de faible à haut niveau,

dans chaque voie ; appairage et vérification de la linéarité des commandes de niveau sur le filtre actif ; appairage du niveau grave en fonction de l'acoustique de la pièce d'écoute.

Le réglage peut s'effectuer de plusieurs manières :

### 1. Réglage enceinte par enceinte, en monaural

Solution demandant comme précautions :

— Ecoute à un niveau légèrement plus élevé qu'en stéréo, avec grave légèrement relevé (à remettre en position normale en stéréo). Sans cette précaution, une seule enceinte bien équilibrée apportera, en stéréo, une balance tonale « descendante », vers l'aigu. On peut régler soit les niveaux respectifs grave/aigu, puis rajouter le médium par bonds d'amplitude de plus en plus faibles « trop - pas assez » jusqu'à obtention du bon équilibre. Cette méthode permet de ressentir avec précision le haut-parleur trop en « avant » ou trop en « recul ». De petites retouches seront à faire en stéréo.

### 2. Réglage en stéréo

— Ecoute à niveau normal, voie par voie, le médium par exem-

ple, et sur disque à effet stéréo peu prononcé. L'équilibre gauche-droit effectué, on ajoute, sur une seule voie (l'autre étant coupée) le supplément d'aigu nécessaire, qu'il est conseillé de ne pas trop relever. L'aigu ne doit pas, même sur un fortissimo de violons, se détacher du haut-médium. L'écoute en stéréo médium-aigu rétablie, on ajoute le grave, en superflu cette fois, puis l'on baisse très lentement le grave jusqu'à l'obtention d'un bon équilibre. Pour ces réglages, à recommander ou à réajuster, deux ou trois disques : certains comportant beaucoup de grave (mais non « enflé » ou trop relevé), d'autres assez portés vers l'aigu, très fins et détaillés du médium à l'aigu ; le meilleur compromis de réglages devant être finalement trouvé. L'orgue et l'acoustique d'une église doivent être d'autant plus spacieux, naturels et profonds que la guitare solo prise en « close-up » doit rester propre, non entachée d'un halo gênant de grave. Chaque voie devrait être capable, dans ses extrêmes limites, du « tout » ou « rien ». Haut-parleurs, amplificateurs et autres maillons altèrent beaucoup les

possibilités de ces réglages. Noter que l'on peut jouer sur la caractéristique de directivité des haut-parleurs médium et aigu pour rechercher le meilleur équilibre.

Noter qu'une écoute prolongée du grave, médium ou aigu seul pendant une certaine durée déséquilibre l'oreille et qu'il faut attendre quelques instants avant qu'elle retrouve son sens de l'équilibre spectral.

Du médium-aigu, écouté pendant 15 minutes par exemple, suivi d'une écoute normale, grave rajouté, apportera pendant les premières minutes d'écoute une impression de « trop de grave ». Il y a lieu dans ce cas de rajouter un superflu de niveau grave et de revenir lentement à la position d'équilibre normale.

Dès qu'un bon équilibre est trouvé, il est important de prendre des notes :

- niveau sur le préamplificateur ;
- disposition des haut-parleurs ;
- modifications éventuelles ;
- niveau de chaque commande sur le filtre actif. On peut ensuite « à l'aveugle » essayer de rechercher une position préalablement déterminée et choisie. Cela permet quelques retouches supplémentaires. Les meilleurs résultats obtenus, il est bon d'avoir en mémoire dans l'oreille ce que reproduit exactement chaque voie prise séparément. Ce qui permet avec l'expérience de trouver rapidement un défaut donné sur une des voies (par exemple) : « bosse » à 2 kHz, résonances graves, mauvais choix des fréquences de coupure, etc. Les notes prises, les réglages vérifiés à plusieurs jours d'intervalle, plusieurs fois de suite permettent d'arriver à un bon compromis.

Bien entendu, d'une personne à une autre, l'équilibre subjectif, la balance tonale, peut varier. On peut néanmoins mettre en

évidence défauts et excès de chacun dans la recherche du meilleur équilibre. Par loi d'entropie on arrive, au bout d'un certain temps, à un équilibre tel que pratiquement tous les disques pourront « passer » correctement et que le système aura tendance à être considéré comme « bien équilibré » par le maximum d'auditeurs.

Un point important pour terminer ces brefs conseils : l'écoute du médium seul filtré doit rester cohérente, compréhensible et peu désagréable même si elle est tronquée. Si cette voie est trop « étouffée », trop « criarde » la voie en question, y compris les maillons précédents sont à revoir jusqu'à localisation du défaut noté.

Au niveau du filtre actif, les réglages fins sont très précis. Une ou deux « minutes » en plus ou en moins sur une voix suffisent pour déséquilibrer le système tout entier. D'où l'importance de l'appairage total et rigoureux de toutes les voies à tous les niveaux cité plus haut.

Pour terminer, le changement d'un maillon, le changement de local d'écoute feront se modifier la position optimum de chaque réglage.

### 3. Quelques conseils pratiques

Sur filtres passifs 3 voies, coupés à 6 dB/oct. ou à 12 dB/oct., les réglages ne sont pas très difficiles, surtout si l'on emploie de bons haut-parleurs. En tri-amplification, on constate le fait d'une action très sensible, d'un « démarrage » ou d'un « freinage » net et marqué sur chaque voie composant l'enceinte. Pour une coupure à 6 dB/oct., en tri-amplification active, les réglages se font assez facilement, le problème que l'on rencontre étant surtout lié à la qualité des haut-parleurs, sur une bande de fréquences bien plus large que celle déterminée par les fréquences de coupure. Si l'on passe à une coupure d'atténuation 18 dB/oct.,

l'ajustement des niveaux respectifs demande beaucoup plus de temps. On pourrait, par analogie, prendre l'exemple d'un montage photographique à bords flous ou nets. Dans le second cas, pour obtenir un maximum de définition, le montage devra être le fruit d'un laborieux travail. Si un ou plusieurs haut-parleurs possèdent des limites ou des défauts, il est préférable de ne pas perdre de temps en s'imposant des coupures mal adaptées en fréquence ou en atténuation. Un tweeter, très fin et « montant » très haut, mais à fréquence de résonance assez élevée pourra se comporter très mal s'il est coupé trop bas ou si la pente d'atténuation est trop douce. La coupure haute du médium présente, en général, le maximum de difficultés : située entre 5 et 9 kHz, elle *dépendra étroitement* de la caractéristique de *directivité*. Vu qu'il faut tenir compte de *l'énergie totale rayonnée* et non du niveau dans l'axe seulement, l'orientation des haut-parleurs de médium est à étudier soigneusement. Dans plusieurs cas, il n'est pas conseillé d'orienter les haut-parleurs vers le point d'écoute, mais de les laisser presque parallèles aux murs latéraux. Ce qui s'impose dans le cas des PM-6, la plus grande linéarité n'étant pas obtenue dans l'axe mais entre 15 et 20° en dehors de celui-ci. Contrairement à ce que l'on pourrait supposer le maximum d'homogénéité est obtenu ainsi et le positionnement d'écoute devient moins critique. La même remarque est à faire pour la plupart des pavillons, sauf de rares exceptions. N'oublions pas les problèmes éventuels de non-symétrie acoustique du local, les murs latéraux (réflexions secondaires) et les effets de masque dus aux résonances de la pièce d'écoute. Une résonance à 3 kHz suffit pour masquer toutes les fréquences supérieures.