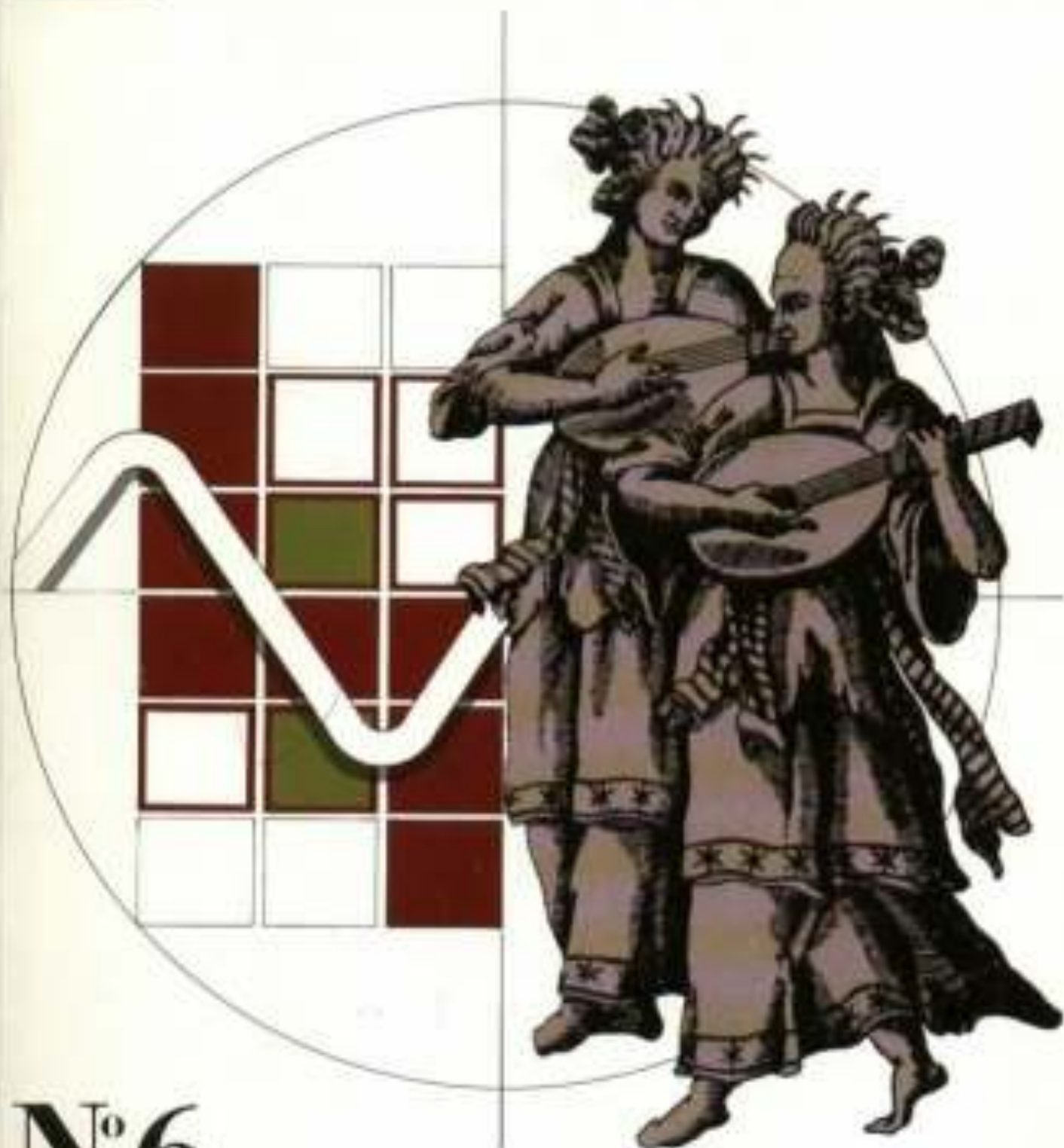


L'AUDIOPHILE



N°6

Septembre 1978
prix 17 f

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

Filtre électronique trois voies

Le filtre Kanéda

Jean Hiraga

A propos d'évaluation subjective des qualités et défauts d'une chaîne de Haute fidélité, de nombreux mots et phrases tentent d'exprimer l'infinité des sensations ressenties à l'écoute.

Bien entendu, pour un technicien qui préfère les chiffres, ce côté subjectif ne l'intéresse que peu, surtout s'il se borne à vouloir dire : comparer, ressentir des différences, c'est bien, mais par rapport à quoi ? Une question pleine de bon sens tout comme de non-sens.

Vu que les sources sonores que nous utilisons, disque, bande, émission de modulation de fréquence sont loin d'être parfaites, il est certain que l'on ne pourrait, à l'aide de ces sources sonores "retrouver" un signal parfaitement fidèle à l'écoute. Ceci est plein de bon sens. Cependant...

En écoutant de la musique, il s'agit cette fois d'une écoute sensible de sons musicaux, une écoute intelligente, qui peut provoquer sur tout être des sensations identiques : grandeur, somptuosité, élégance, harmonie, dissonance. Or un technicien se trompe sans doute lorsqu'il dit que, puisque son appareil a une large bande passante, un bon "slew rate", une faible distorsion, il est fidèle "musicalement parlant" et que tous ceux qui pensent le contraire se trompent puisqu'il se basent sur des choses sans référence absolue.

Cependant lorsque l'on fait la comparaison de dix amplificateurs fabriqués par dix constructeurs sérieux, il est évident que chacun dira que le sien est le meilleur et le plus naturel. Le lecteur sait aussi que, comparés, tous ces amplificateurs produiront à l'écoute des sensations musicales différentes ou même parfois très différentes. L'important est de reconnaître entre ces amplificateurs ou préamplificateurs des différences nettes d'expression sonore, même s'il n'existe pas de référence de base. Ainsi on peut reconnaître des effets de dureté, de voile, de modification de dynamique, de différences de "punch", etc...

Ainsi chaque amplificateur a, comme le sait le lecteur, des qualités subjectives bien précises, ainsi que des défauts — ou manque — de qualités qui le rendra très différent d'un autre.

Pour l'audiophile et le vrai musicien, l'écoute d'un mouvement fortement dissonant de *Roméo et Juliette* de Prokofieff ou d'un passage mélodieux, timide ou chantant du petit violon de l'histoire du Soldat de Stravinsky, passant à travers un tel maillon, va indubitablement modifier ces nombreuses sensations sonores musicales et rendre le son plus "chaud", plus "dur", moins "élégant", "velouté", coloré ou décoloré... C'est la bête noire des audiophiles.

La troisième génération

En amplificateurs, préamplificateurs et autres maillons, il existait une première génération d'appareils bons à l'écoute mais passables ou même mauvais à la mesure. Dans la seconde génération, encore actuelle pour une bonne partie des produits commercialisés, on trouve cette fois des maillons aux performances techniques bonnes ou même "trop bonnes" pour notre oreille, mais subjectivement inférieurs; parfois bons, parfois même incoutables, à la grande déception d'audiophiles peu décidés à changer d'appareil tous les ans.

La troisième génération, beaucoup plus actuelle, tient compte de tous les facteurs pouvant jouer sur le technique ou sur le subjectif: performances techniques, effets subjectifs, qualité subjective et technique des composants, "musicalité" d'un appareil ou plus exactement "fidélité de la musicalité" de celui-ci. Ces mots sont bien sûr utilisés comme slogans publicitaires par les constructeurs, qu'ils trompent le client ou qu'ils se trompent eux-mêmes, c'est une autre affaire...

Notre oreille est à la fois un instrument de grande infidélité et un instrument irremplaçable auquel nous devons toujours croire.

A propos de cette troisième génération, les nombreuses expériences, réalisations expérimentales, les nombreux articles de Monsieur Kanéda (Université d'Akita, Japon) ont provoqué un grand remous et un succès unanime auprès de milliers d'audiophiles. Il va être décrit ici, faisant suite au

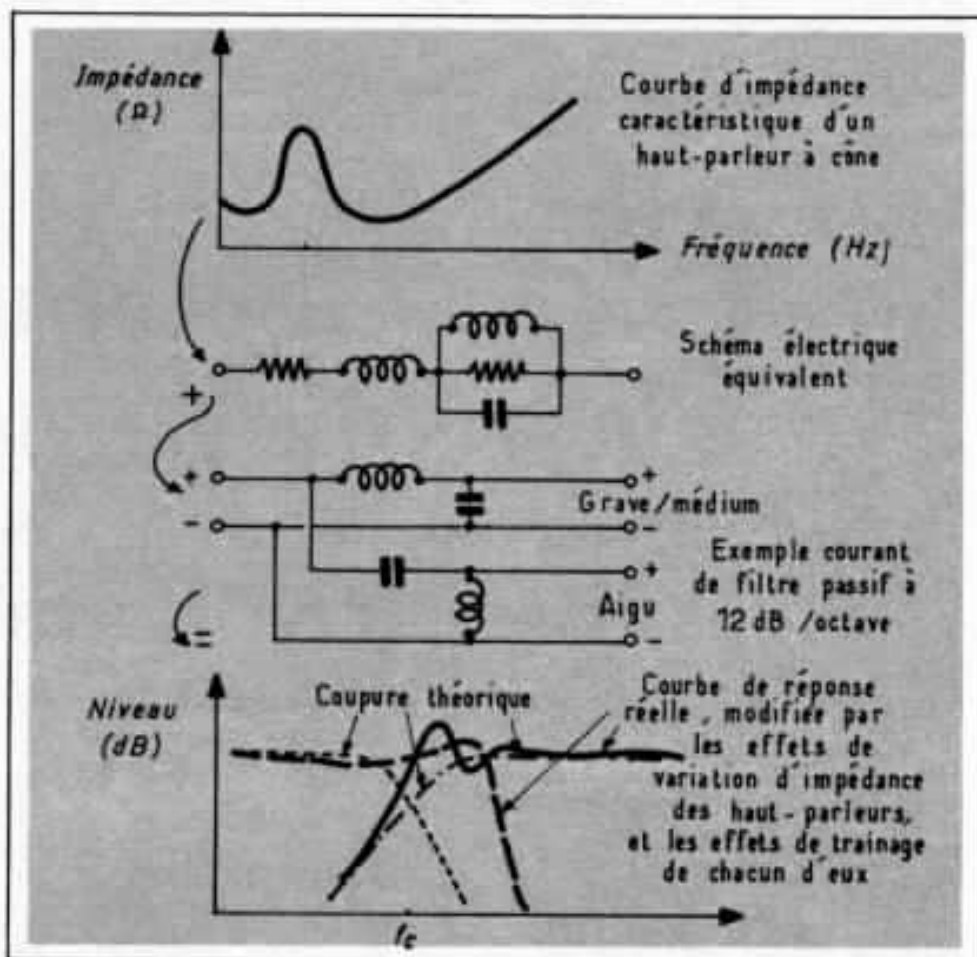


Fig. 1 - Un exemple montrant un des défauts caractéristique du filtre passif; celui-ci peut modifier la fréquence de coupure, la courbe de réponse globale, ou affecter la réponse transitoire. Sur ce point, le filtre actif est avantageux, mais moins pratique.

fameux "Préamplificateur Kanéda", un filtre électronique trois voies de haute qualité, de très faible distorsion et de très grande fidélité musicale.

Pour Monsieur Kanéda, une réduction de la distorsion de 0,1 % à 0,005 %, un élargissement de la bande passante, un condensateur de très haute qualité produisant seulement une différence mesurée de 0,0005 %, (malgré un haut-parleur distordant à 0,5 % ou 1 %), n'a pour lui d'importance que si ces améliorations sont ressenties sur

l'écoute d'un disque courant, pourtant plein de défauts. Pour lui, si tous les amplificateurs faisaient partie d'une troisième génération en Haute Fidélité, tous auraient des performances techniques très proches et donneraient subjectivement les mêmes impressions sonores musicales. L'acheteur n'aurait alors plus à faire un choix très judicieux et pourrait acheter le premier appareil venu...

Pour son filtre électronique trois voies, comme pour son circuit préamplificateur, de nom-

breuses retouches, variantes des circuits, composants, ont été faites et étalées sur les pages de nombreux articles publiés entre 1972 et 1978 dans la revue *Radio Experimenter's Magazine*, pour ce même souci de purisme sonore.

Filtre électronique

Autrefois réservé à des chaînes Haute Fidélité de haut niveau, le filtre électronique est actuellement devenu courant dans la plupart des pays, les produits commercialisés sont désormais nombreux.

Sa raison d'être est de pouvoir remplacer le filtre passif classique, disposé normalement entre le haut-parleur et l'amplificateur (cf *L'Audiophile* N° 5 p. 53). Ainsi chaque amplificateur, qui ne recevra qu'une partie de la bande audible, grave, médium ou aigu travaillera sous des meilleures conditions de distorsion par intermodulation, et permettra une liaison directe avec le haut-parleur en question, sans passer par le traditionnel circuit de condensateurs, selfs, résistances. Le haut-parleur, mieux amorti, verra, entre autre, ses caractéristiques de réponse transitoire améliorées.

Cependant la chaîne va se trouver cette fois "allongée" puisqu'un filtre va se trouver inséré entre le préamplificateur et l'amplificateur. Il est donc nécessaire, pour conserver les avantages de la suppression du filtre passif, qu'il soit aussi "transparent" que possible, pour tenter d'atteindre l'idéal que serait "un fil électrique avec du gain". Il doit aussi pouvoir travailler selon des impédances de sortie et d'entrée différentes, ainsi que des niveaux d'entrée sensiblement différents, sans destruction de son rapport signal/bruit, pour être aussi universel que possible.

Ceci contredit cependant les exigences de simplicité du câblage, le minimum de commutateurs

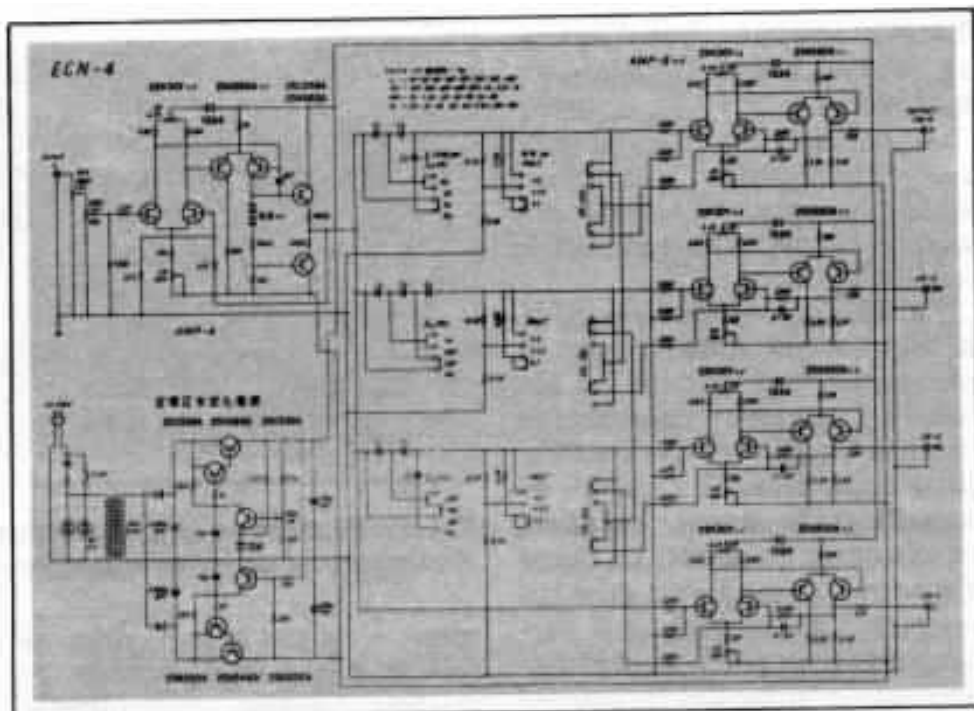


Fig. 2 - Filtre électronique A et E ECN-4, 2 - 3 - 4 - voies commutables, 32 coupures sont possibles.

et d'inverseurs nécessaire pour accéder à un très haut niveau de qualité. Il faudra donc trouver un bon compromis.

Choix de la pente d'atténuation

C'est un point délicat à résoudre, si l'on doit considérer les divers problèmes de phase, de recouvrement, de chevauchement des courbes de réponse en amplitude des haut-parleurs.

Pour la jeune firme japonaise A et E, connue par ses amplificateurs et préamplificateurs à couplage direct, la coupure à 6 dB par octave apporterait le meilleur recouvrement en phase et une bonne continuité à l'écoute, en passant d'une voie à l'autre. Le circuit élaboré par A et E, figure 2, est donc simple, constitué de deux circuits amplificateurs à couplage direct, entrée différentielle FET et sortie push-pull, entre lesquels est inséré le filtre passif à 6 dB par octave. Cette solution exige cependant des haut-parleurs de très haute qualité en raison de la faible pente d'atténuation.

Les autres grands constructeurs ont préféré quelque chose de plus universel comme des pentes d'atténuation variables entre 6 et 18 dB et des fréquences d'aiguillage variables. Le circuit Kanéda offre lui une pente d'atténuation fixe de 18 dB par octave.

Mais s'il est exact que seul le filtre à 6 dB par octave donne une courbe de phase bien plate, seul le résultat final compte, c'est-à-dire la somme des mérites et démérites. En comparant ainsi de nombreux haut-parleurs de grave, médium, aigu, reliés par des filtres à 6, 12 et 18 dB, la moyenne donne l'avantage au filtre 18 dB, en particulier au niveau de la transparence. Car si la phase est respectée dans le filtre à 6 dB par octave le haut-parleur de grave donne encore un niveau audible à 10 000 Hz et le tweeter faisant de même à 500 Hz n'arrange pas les choses. Cependant un filtre à 24 dB n'est lui aussi qu'inférieur à celui de 18 dB, car il demande un étage "buffer" supplémentaire, et inutile.

Bien sûr, un filtre idéal devrait être en réalité calculé en fonction du haut-parleur lui-même, qui est toujours loin d'être parfait ; mais

il devient alors un appareil incompatible avec d'autres systèmes de haut-parleurs.

C'est la solution adoptée par le constructeur Français Audiotec, par exemple, pour ses ensembles G 150, dont les qualités sont nombreuses.

La figure 3 montre l'aspect de la réponse en amplitude et en phase d'un filtre à 18 dB par octave. On remarque une rotation de phase de 360° du côté du filtre passe haut. Quant à l'endroit de l'aiguillage, la réponse en phase va se trouver perturbée. La figure 4 montre une fréquence pure superposée à un harmonique 3, successivement en phase et déphasé, ainsi que la forme des enveloppes résultantes. Cependant, en respectant l'amplitude de la fondamentale et de son harmonique 3 il est difficile de dire si l'oreille peut détecter une différence entre ces deux enveloppes. En effet, en tenant compte des nombreuses réflexions de la salle d'écoute la courbe de réponse en phase est elle-même perturbée. De plus un instrument de musique n'émet pas de sons faits de fondamentales et d'harmoniques avec *relations de phase de stabilité absolue*.

Par contre, côté amplificateur, une instabilité en phase ou en niveau pour un harmonique, même de rang élevé, sera lui détecté *plus facilement*.

De plus, la phase mesurée sur signal pur en fréquence glissante, à l'aide d'un microphone dans une salle d'écoute normale se montre déjà très irrégulière. Il faut, en réalité, y ajouter des *distorsions de phase transitoires* dues principalement aux variations *dynamiques* de la courbe d'impédance et de *phase* du haut-parleur, des instabilités provoquées par le fractionnement non contrôlé des membranes soumises au signal musical qui, cette fois, est fait de la somme de millions de fréquences pures.

Ceci montre que la réponse en

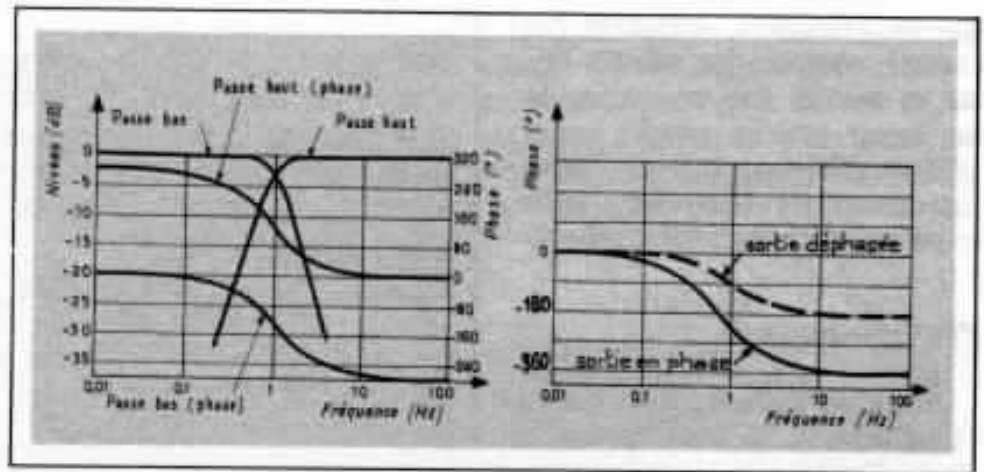


Fig. 3 - Réponse en amplitude et en phase d'un système deux voies. À droite courbe de phase d'un filtre à 18 dB/octave.

phase n'est pas le seul critère de qualité, et que seule la somme des qualités et défauts d'un ensemble permet d'en faire une évaluation générale de qualité.

On dit souvent qu'un filtre à 6 dB par octave se raccorde mieux à l'audition qu'un autre à 18 dB par octave. Ceci est faux. Même s'il est bien équilibré en niveau, on entendra la mauvaise "fusion" entre les voies. Inversement, les critiques faites sur les systèmes à 18 dB par octave proviennent tout d'abord du choix difficile des haut-parleurs pour chaque voie, et aussi du réglage délicat des niveaux de chacune de ces voies. Mais cette solution permet par contre d'accéder à un degré de définition bien supérieur et à une fusion parfaite entre les voies. Telles sont les conclusions de Monsieur Kanéda.

L'étage d'entrée

Ce filtre électronique est de type actif, suivant la théorie Yamane, professeur à l'université de Tokyo, qui publiait le premier circuit de filtre électronique, avec toutes les conditions de phase et de niveau, admirablement bien développées, vers 1953.

Attirons tout de suite l'attention à porter aux étages amplificateurs, qui doivent répondre aux exigences suivantes: gain de 1, impédance d'entrée élevée, impédance de sortie basse, bon rapport signal/bruit, marge de sécurité de surmodulation d'entrée. En s'écartant de l'une ou plusieurs de ces conditions, on tendra donc vers l'échec.

La figure 5 montre l'exemple de deux filtres de type Yamane, filtres dits complémentaires à 18 dB

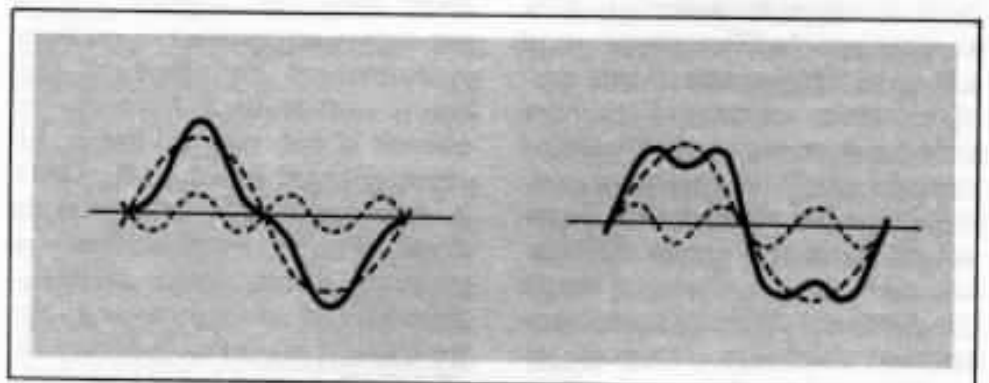


Fig. 4 - Malgré une enveloppe différente, ces deux signaux sont faits d'une fondamentale et d'un harmonique 3 est déphasé de 180° par rapport à la fondamentale, dans le cas II ils sont en phase. Entendons-nous une différence d'écoute ?

par octave. On voit que, chose évidente, les bases et les sorties vont se trouver reliées à des condensateurs, résistances en séries ou parallèles. Ces composants sont nécessaires, mais font facilement augmenter le taux de distorsion de l'étage buffer.

La figure 6 montre trois genres de circuits reliés dans ces conditions et les effets de ces composants passifs sur la distorsion. Par exemple, pour le transistor PNP 2SA 640, bien qu'excellent, son h_{FE} , moins linéaire que pour un transistor NPN, et la présence de R, augmentant l'impédance d'attaque, apportent un supplément d'harmoniques de rang élevé. La capacité parasite d'entrée est d'autre part non négligeable, et produit une distorsion de phase entre le courant base et la tension base. Ceci fait augmenter le taux de distorsion.

Tout cela est valable pour la majorité des circuits de ce genre, dont un des effets les plus gênants est de limiter la tension de sortie, pour rester dans une marge de distorsion maximum acceptable.

Sur la figure 7, sont comparés les taux de distorsion de quatre types de transistors NPN, PNP, FET canal N et FET canal P, pour lesquels le NPN 2SC 1400 est le plus intéressant. Bien que son taux de distorsion soit faible ; 0,2%, sans contre-réaction, il est certain que celui-ci va augmenter lorsque cet étage sera monté avec son filtre actif, ou actif/passif.

Un autre circuit existe cependant, qui n'est pas le SRPP à proprement parler, mais qui travaille de façon identique à ce fameux SRPP et utilise, au lieu de deux transistors à effet de champ, un transistor superposé bipolaire. C'est le circuit Kondo, un ancien ingénieur de la firme SONY, réalisateur du filtre SONY 4300F, qui bien qu'ancien et hors de production, reste encore un appareil exceptionnellement bon, à la mesure comme à l'écoute. Dans L'Audiophile N° 1, Monsieur

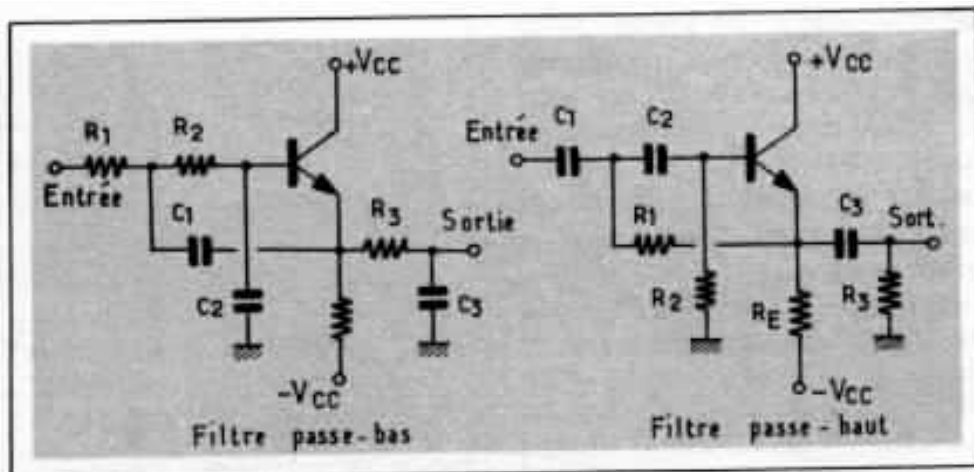


Fig. 5 - Filtres complémentaires passe-bas et passe-haut de type Yamané

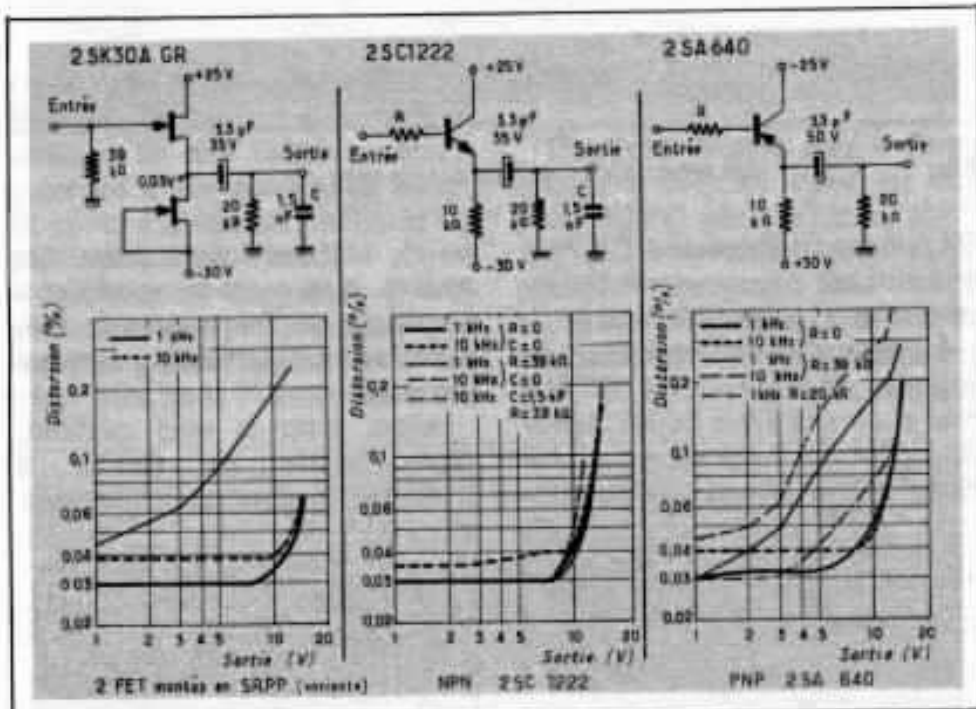


Fig. 6 - Effets des composants passifs du filtre sur l'étage «buffer»

Tanaka, un puriste l'utilise, ainsi que bien d'autres.

La figure 8, montre un montage Kondo SRPP. Toutefois les 2SK 23 et 2SA 611 utilisés dans le filtre Sony, sont ici remplacés par d'autres transistors, et sélectionnés pour obtenir le plus faible taux de distorsion possible. L'étage d'entrée adapté est donc fait d'un circuit SRPP Kondo, avec le transistor 2SA 726G, servant de régulateur de courant, et de deux transistors FET 2SK 30A GR, montés en parallèle. Cet étage d'entrée, qui sera relié aux filtres passe-haut, passe-bande et passe-

bas, doit autant que possible débiter un courant important. Cette solution a été préférée à un autre transistor FET à I_{DSS} plus important. Cette combinaison permet ainsi d'accéder à un taux de distorsion de l'ordre de 0,001%.

L'étage de filtrage

La figure 9 montre que, suivant les filtres passe-haut ou passe-bas, et pour des valeurs inférieures à F_C (fréquence de coupure), l'impédance résultante est fonction des impédances X_1 et X_2 . Pour les

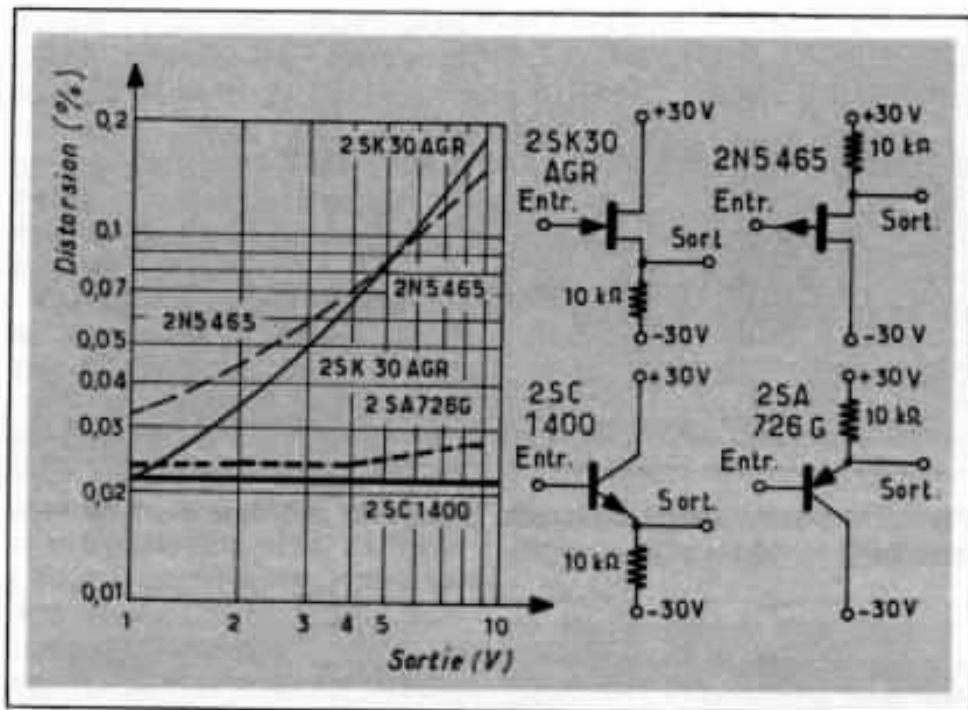


Fig. 7 - Effets des transistors sur la distorsion

fréquences supérieures à F_c , l'impédance est pratiquement résistive et dépend alors de R_1 et R_2 .

Le filtre a ici des fréquences de coupure de 600 Hz et 8 000 Hz, tout comme le filtre SONY 4300F (qui peut en outre passer à plusieurs autres fréquences de cou-

pure), utilisées couramment. On pourra, bien entendu, modifier si nécessaire ces fréquences de coupure, suivant le tableau indiqué plus loin.

Ainsi, pour la voie médium, passe bande, de 600 Hz à 8 000 Hz, la résistance équivalen-

te pour ces fréquences sera de 20 kOhms, alors qu'en-deçà et au-delà elle passera à moins de 5 kOhms.

Ceci explique pourquoi l'étage d'entrée doit être capable de débiter un courant de sortie important. Pour une impédance de 3 kOhms, une tension d'alimentation de 30 Volts, le courant doit passer en crête à 10 mA, pour des fréquences supérieures à 8 kHz. A cet effet, trois genres de circuits ont été essayés, le circuit de la figure 10 pour lequel la combinaison 2N 5465 (FET) / 2SC 1400 a été retenu. Il faut cependant trouver un FET dont le I_{DSS} est égal ou supérieur à 10 mA. En réalité, la plupart d'entre eux, achetés dans le commerce, ne débitent que 5 à 6 mA, ce qui peut exiger une mise en parallèle de deux 2N 5465.

Détermination des valeurs des éléments

- Filtre passe-haut.

$$C_1 = C_2 = C_3 = C \quad (1)$$

$$R_1 = R/2$$

$$R_2 = 2R \quad (2)$$

$$R_3 = R$$

- Filtre Passe-Bas

$$R_1 = R_2 = R_3 = R \quad (3)$$

$$C_1 = 2C$$

$$C_2 = C/2 \quad (4)$$

et la valeur de F_c après simplification sera donnée par

$$F_c \text{ (Hz)} = \frac{159}{C(\mu F) R \text{ (kOhms)}}$$

ou bien

$$F_c \text{ (kHz)} = \frac{159}{C(pF) R \text{ (MOhms)}}$$

Ainsi, pour le filtre passe-haut, la valeur de R_1 et R_2 et pour le filtre passe-bas, la valeur de C_1 et C_2

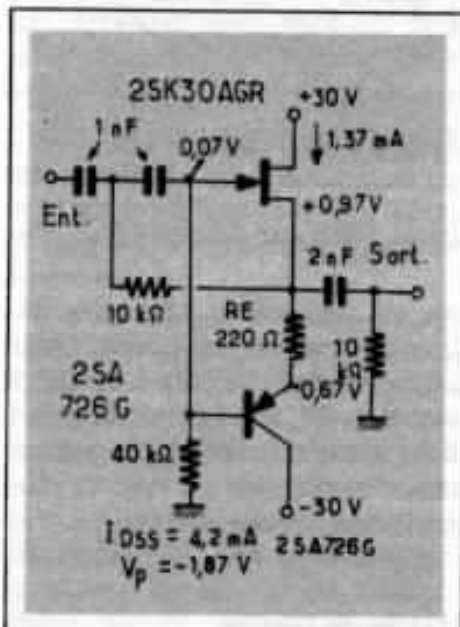


Fig. 8a - Etage SRPP Kondo avec filtre passe-haut de type Yamané

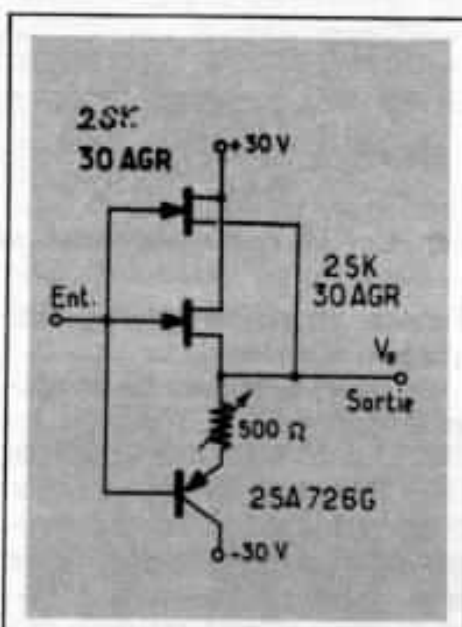


Fig. 8b - Etage d'entrée (premier buffer) de type SRPP Kondo du filtre Kanéda, les FET sont montés en parallèle pour obtention d'un courant plus important. Le taux de distorsion est de l'ordre de 0,001%, sans contre réaction

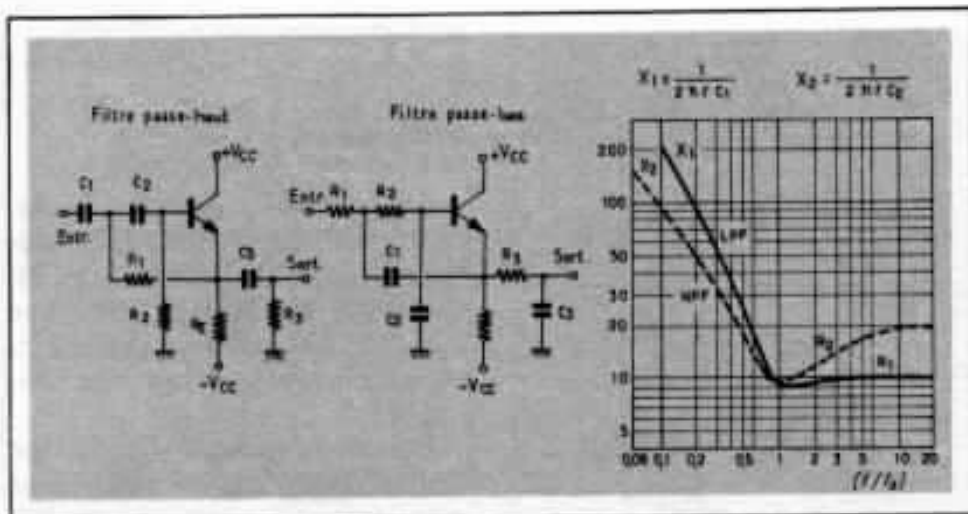


Fig. 9 - Impédance des filtres passe-haut et passe-bas en fonction de R_1 , R_2 et C_1 , C_2

doivent être respectivement conformes aux formules 2 et 4. Cependant R_2 et C_2 , en dehors de la boucle de contre réaction, sont des valeurs à ne pas changer, même si l'on veut passer à d'autres fréquences de coupure.

Pour le filtre passe-haut, et le filtre passe-bande, des câbles de liaison entre filtre et amplificateur de puissance pourraient éventuellement modifier la valeur de F_C . A cet effet ; la valeur de R_2 a été réduite de moitié et celle de C_2 doublée. Il en est de même pour les valeurs de R et C pour le filtre passe-bas, où R prend une valeur de 20 kOhms.

Pour la voie grave, la paire amplificatrice (2N 3954 ou FD 1684, double FET hybride dans un boîtier unique) de sortie apporte un taux de distorsion très faible, puisque de l'ordre de 0,005% (maximum) en utilisation normale (fig. 10)

Alimentation régulée

C'est le même type d'alimentation ultra-rapide que celle utilisée dans le préamplificateur Kanéda (1^{re} version L'Audiophile N°3). Une petite différence provient de l'utilisation en sortie d'un condensateur de 2,2 μF à quatre pôles, pour éviter les effets de self série. (fig. 11). On peut, bien en-

tendu, remplacer cette alimentation régulée par une alimentation utilisant de très fortes capacités précédée d'une double self en tête, comme la version améliorée du préamplificateur Kanéda.

A l'écoute, ces deux genres d'alimentation se distinguent par une plus grande finesse dans l'extrême aigu pour l'alimentation ré-

gulée, malgré une légère perte de dynamique, alors que l'alimentation non régulée apporte un son beaucoup plus dynamique sur toute la bande audible. Dans l'aigu, le léger manque de finesse peut être rattrapé par la mise en parallèle sur les condensateurs d'autres capacités de haute qualité. A la mesure, les différences sont cependant faibles, puisque l'on ne voit des variations d'impédance qu'au-delà de 1 MHz, où les capacités mises en parallèle réduisent l'effet selfique des électrochimiques à ces fréquences.

Schéma

Bien plus simple que le Sony 4300F, il consiste donc en une paire SRPP genre Kondo, (buffer). La voie aigu (passe-haut) possède seulement une paire NPN/FET à faible distorsion. (fig. 13). La voie passe bande est faite de trois étages, nécessaires

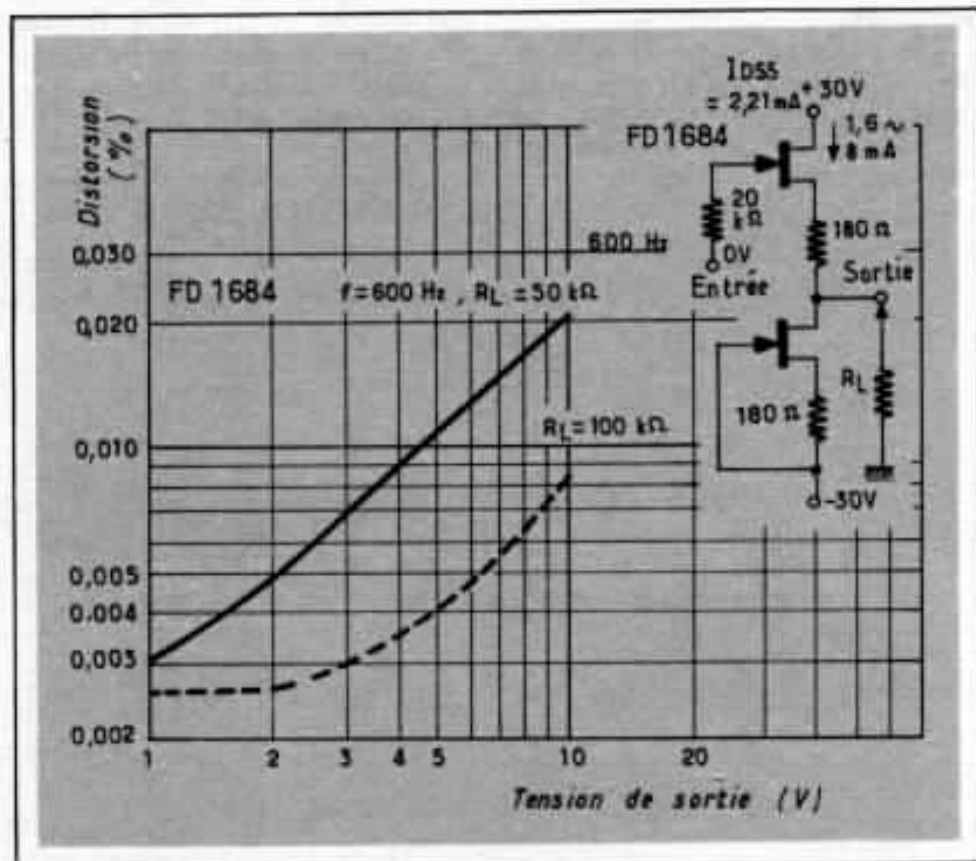


Fig. 10 - Etage de sortie de la voie grave. Le taux de distorsion reste inférieur à 0,005% (sans contre réaction) pour une tension de sortie de 2 volts

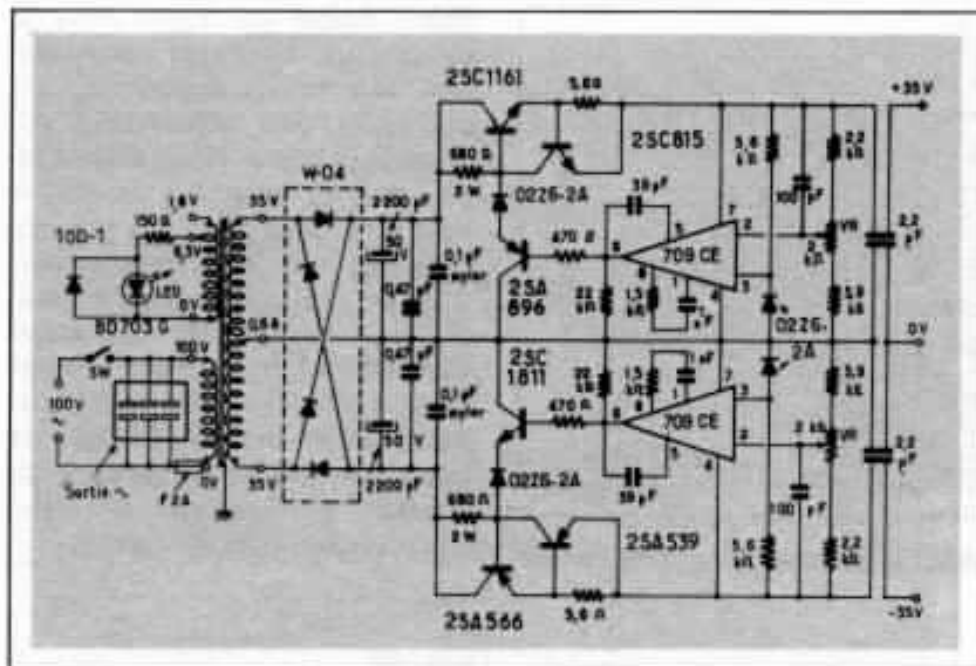


Fig. 11a - Schéma de l'alimentation régulée du filtre Kanéda

pour éviter toute influence extérieure et pour couper à 18 dB aux fréquences de 600 et 8 000 Hz. La voie grave, modifiée de nombreuses fois, possède deux étages entre lesquels se place le filtre passe haut, coupant à 600 Hz, 18 dB par octave.

Les potentiomètres de réglage de niveau pour chaque voie sont placés en sortie. Ils sont de

10 kOhms pour le médium et l'aigu et de 20 kOhms pour le grave.

Circuit imprimé

Un circuit imprimé spécial n'est pas encore conçu et le dernier prototype est réalisé sur un circuit imprimé universel, (figure 13). Malgré cet aspect "amateur", les

performances sont excellentes.

Composants

Les résistances sont pour la plupart des Philips MR 25 (film métallique de haute stabilité), des Riken (film de tantale) ainsi que d'autres au carbone aggloméré, choisies pour leurs qualités subjectives.

Les condensateurs sont de type Polystyrol, ce qui est suffisant et relativement économique, mais il est possible de les remplacer par ceux de marque Soshin, au mica argenté, avec armatures fondues dans du verre, ce qui donne une haute stabilité et des armatures d'une grande stabilité mécanique.

Les câbles de liaison entre potentiomètres, circuit imprimé et prise d'entrée et de sortie, sont de type Mogami 2497, 2510 et aussi Léonische Lify 1 mm².

Ce filtre électronique, un appareil expérimental, comme toutes les autres réalisations Kanéda, n'est pas un appareil commercialisé, même sous licence. Il n'est donc pas disponible pour le mo-

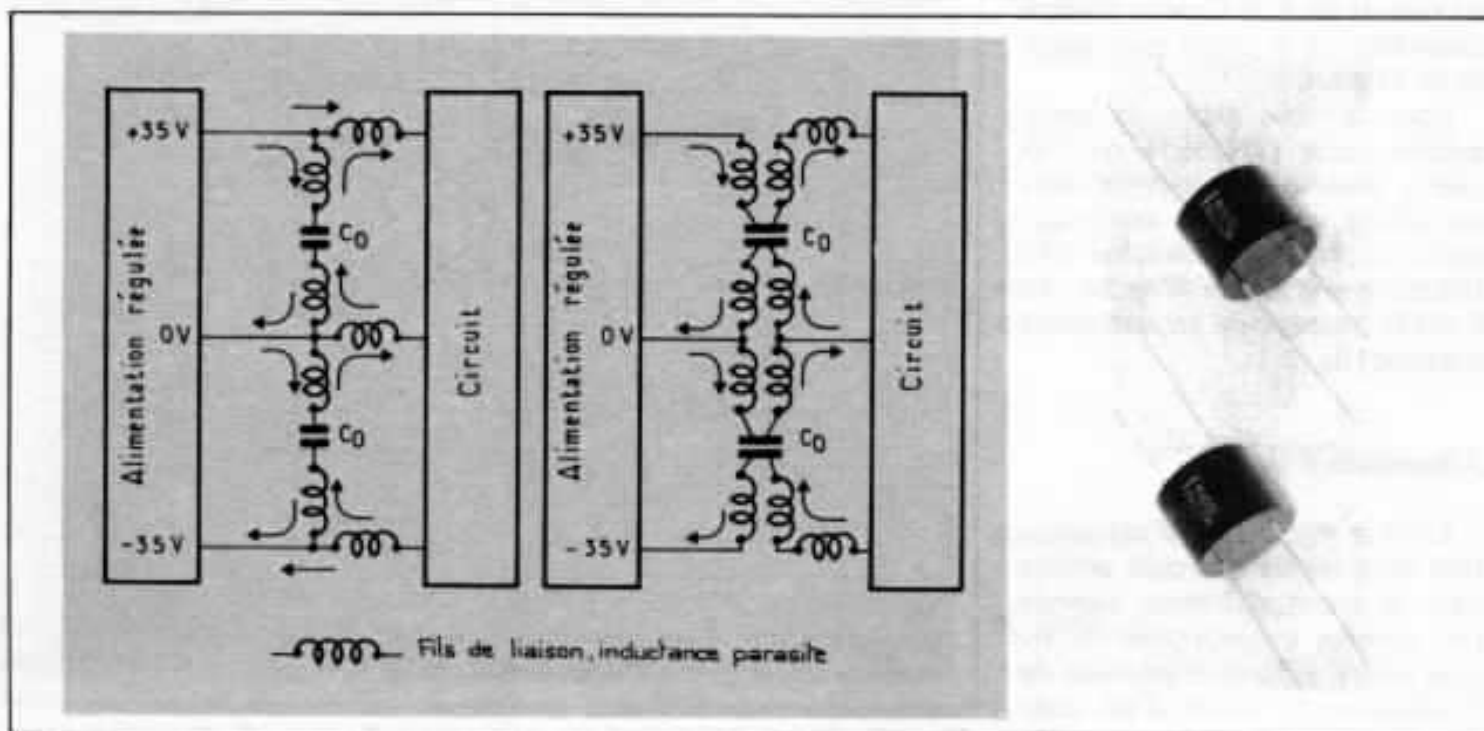


Fig. 11b - Schéma de l'alimentation montrant l'avantage de l'utilisation d'un condensateur à 4 sorties (meilleure réponse transitoire)

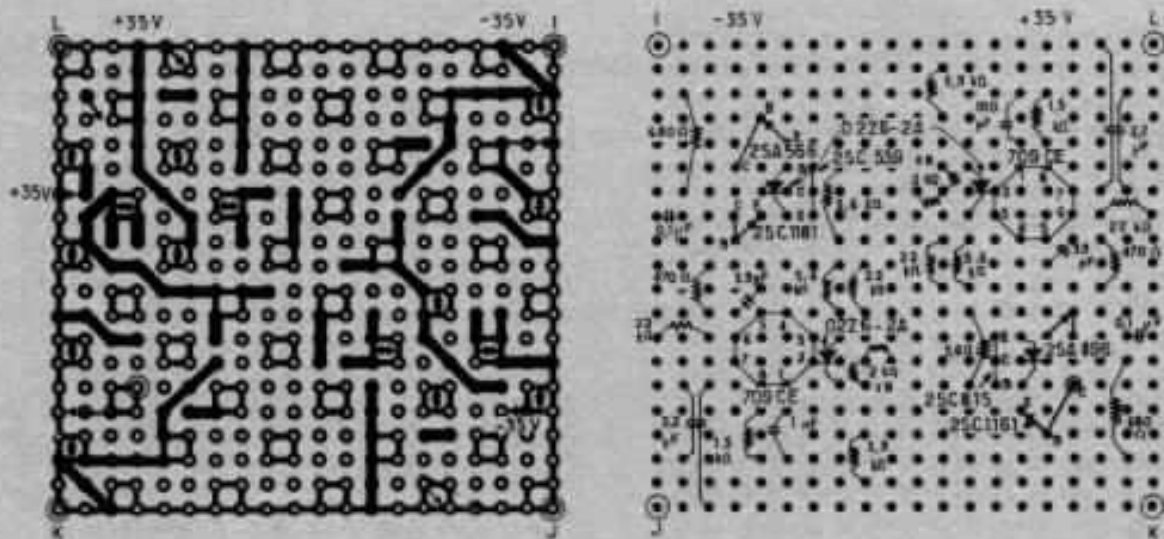


Fig. 11c - Montage de l'alimentation régulée Kanéda sur un circuit pré-imprimé standard

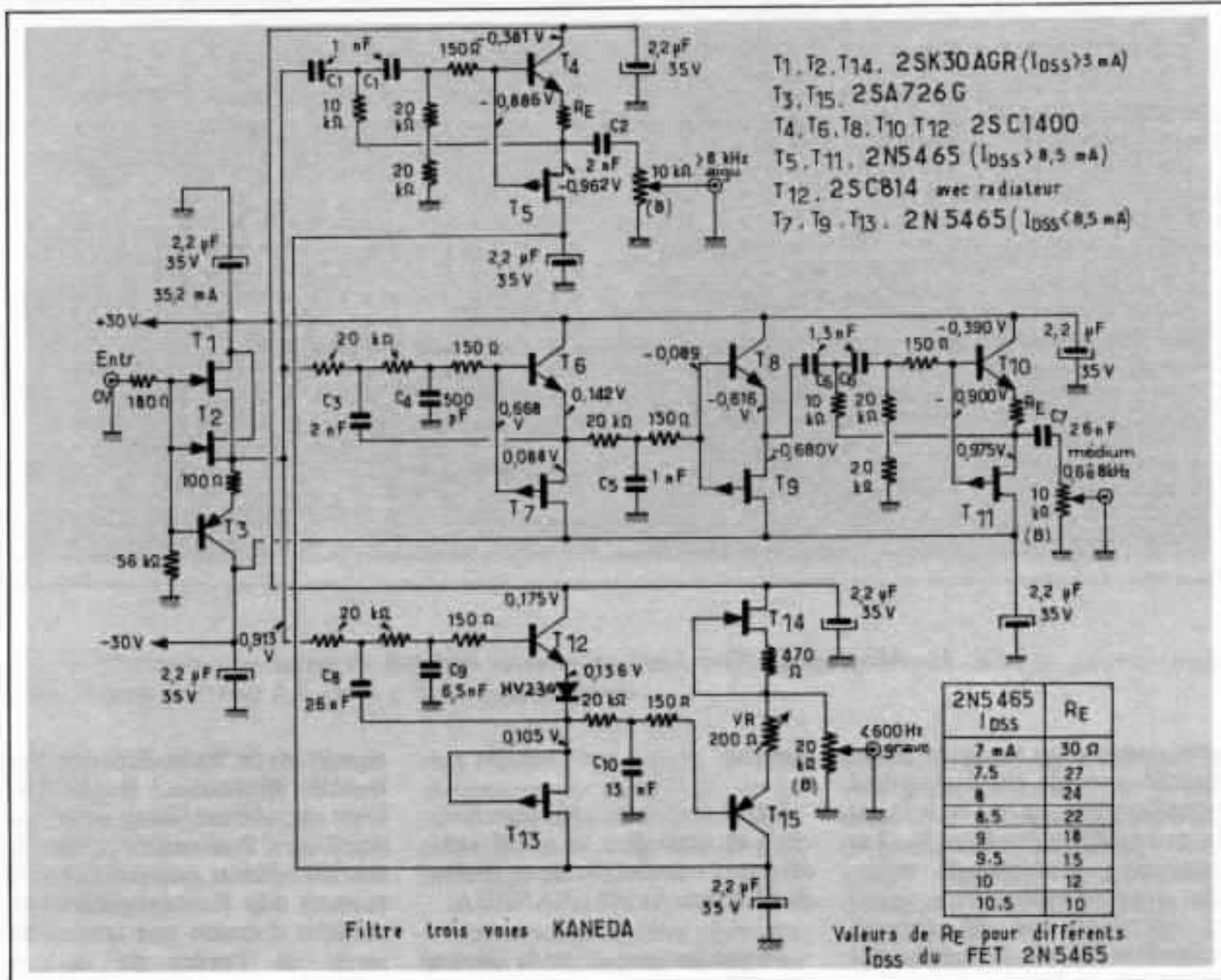
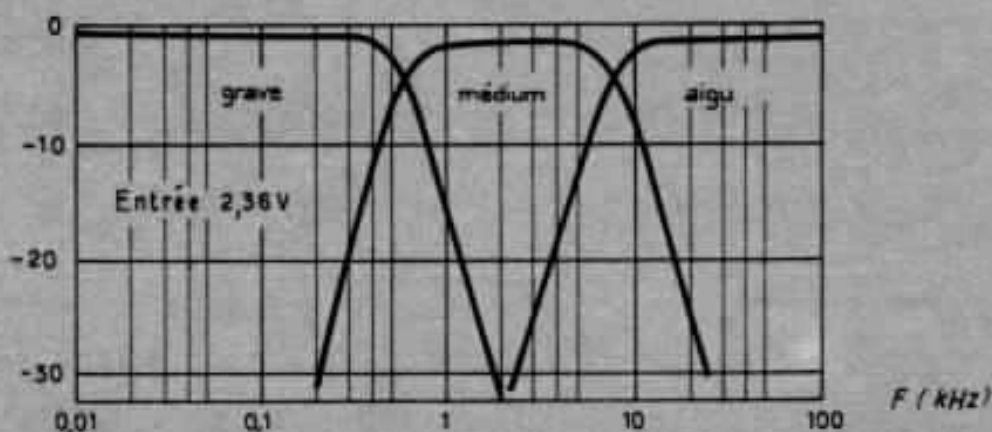
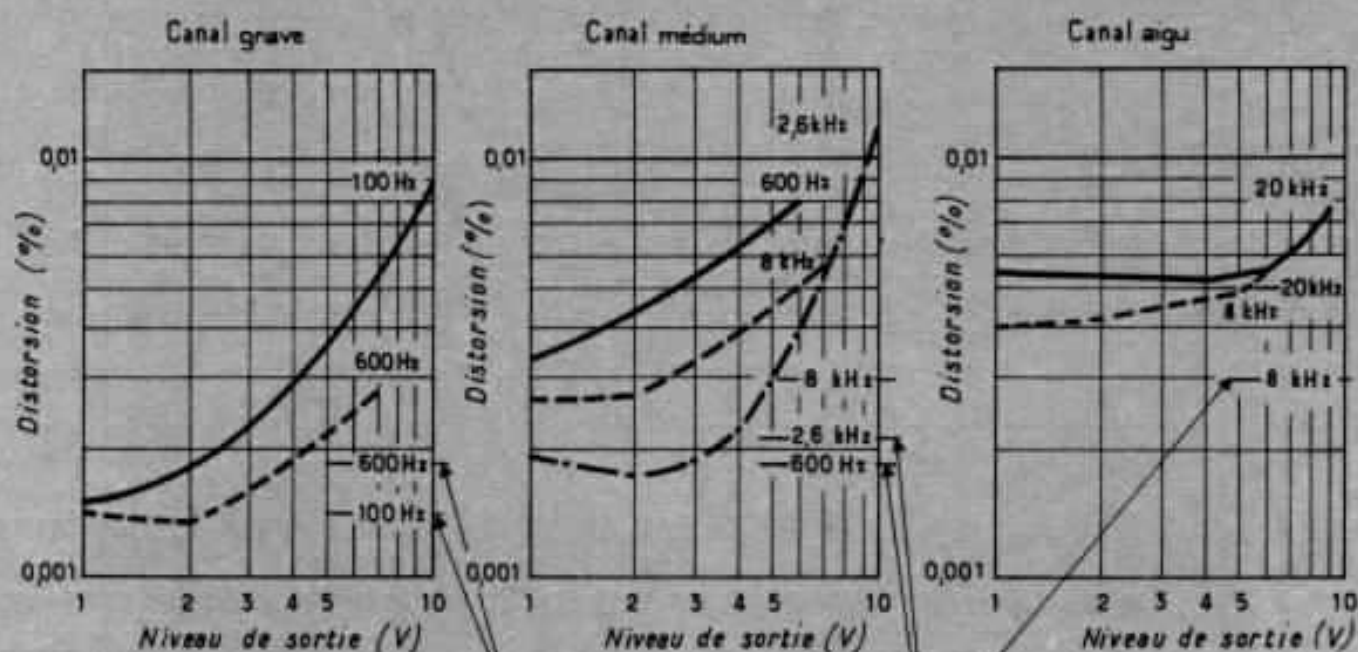


Fig. 12 - Filtre trois voies Kanéda



Courbe de réponse du filtre KANEDA, elle est comprise entre 0 Hz et 100 kHz (-0,5 dB)



Taux de distorsion en fonction du niveau de sortie, pour les trois voies. Il reste inférieur à 0,005 % pour 2 V de sortie

Fig. 14 - Caractéristiques du filtre Kanéda. Taux de distorsion en fonction du niveau de sortie, pour les trois voies. Il reste inférieur à 0,005 % pour 2 volts de sortie

finition, à cause d'un bobinage plus léger. Le transformateur, que M. Kanéda préfère aux préamplis, est soit le AU 301 Denon, un vieux modèle périmé mais excellent, ainsi que l'Anzai A-75.

Le préamplificateur est celui que les lecteurs de l'Audiophile connaissent, utilisant l'alimenta-

tion régulée ultra-rapide, les condensateurs au mica S.E. et les condensateurs de liaison (entre étage RIAA et étage linéaire) au mica argenté.

Vient ensuite le filtre électronique 3 voies, coupé à 600 et 8 000 Hz à raison de 18 dB par octave, qui attaque trois amplificateurs à liaison directe: un de

deux fois 180 W classe AB pour la voie grave, un autre pour le médium de 50 W classe A (qui a été un grand succès au Japon, et une grande réussite, musicalement parlant), et pour la voie aiguë, un amplificateur de classe A de 2x30 Watts.

Quant aux haut-parleurs, ce sont des Onken, utilisés tels quels, sans aucune modification.

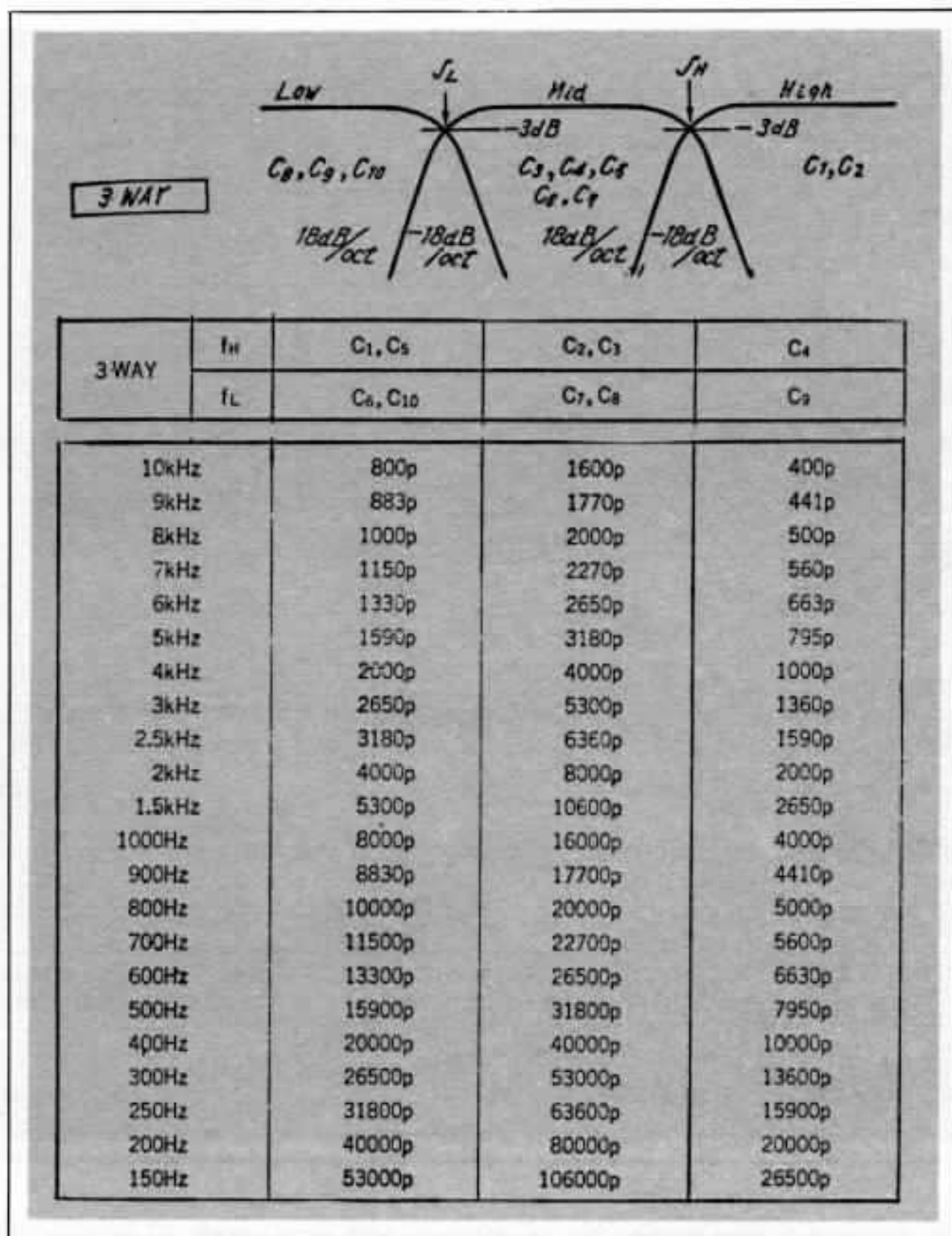


Fig. 15 - Tableau donnant les valeurs de C₁ à C₁₀ permettant de choisir 22 fréquences de croisement. Ceci montre que ces condensateurs doivent avoir des tolérances de l'ordre de 2% ou mieux

Les lecteurs semblent impatients de voir traiter l'amplificateur Kanéda classe A. C'est cependant un point délicat à traiter, mais néanmoins très intéressant. Disons d'avance le plus gros avantage de ce genre d'amplificateur : les systèmes à chambre de compression (en particulier la

voie médium) couplés à de tels amplificateurs perdent une grande partie de leurs colorations, chose peu facile à expliquer, mais démontrée de nombreuses fois en public, lors de démonstrations et comparaisons d'amplificateurs.

Si la liaison directe et le facteur d'amortissement y sont peut-être

pour quelque chose, on doit dire au contraire que les appareils à tubes, eux, accentuent les défauts ressentis. Si ces appareils à tubes sont de haut niveau de qualité, les résultats sont alors très bons. Par contre, l'amplificateur classe A s'adapte beaucoup mieux aux enceintes et pose, par exemple,

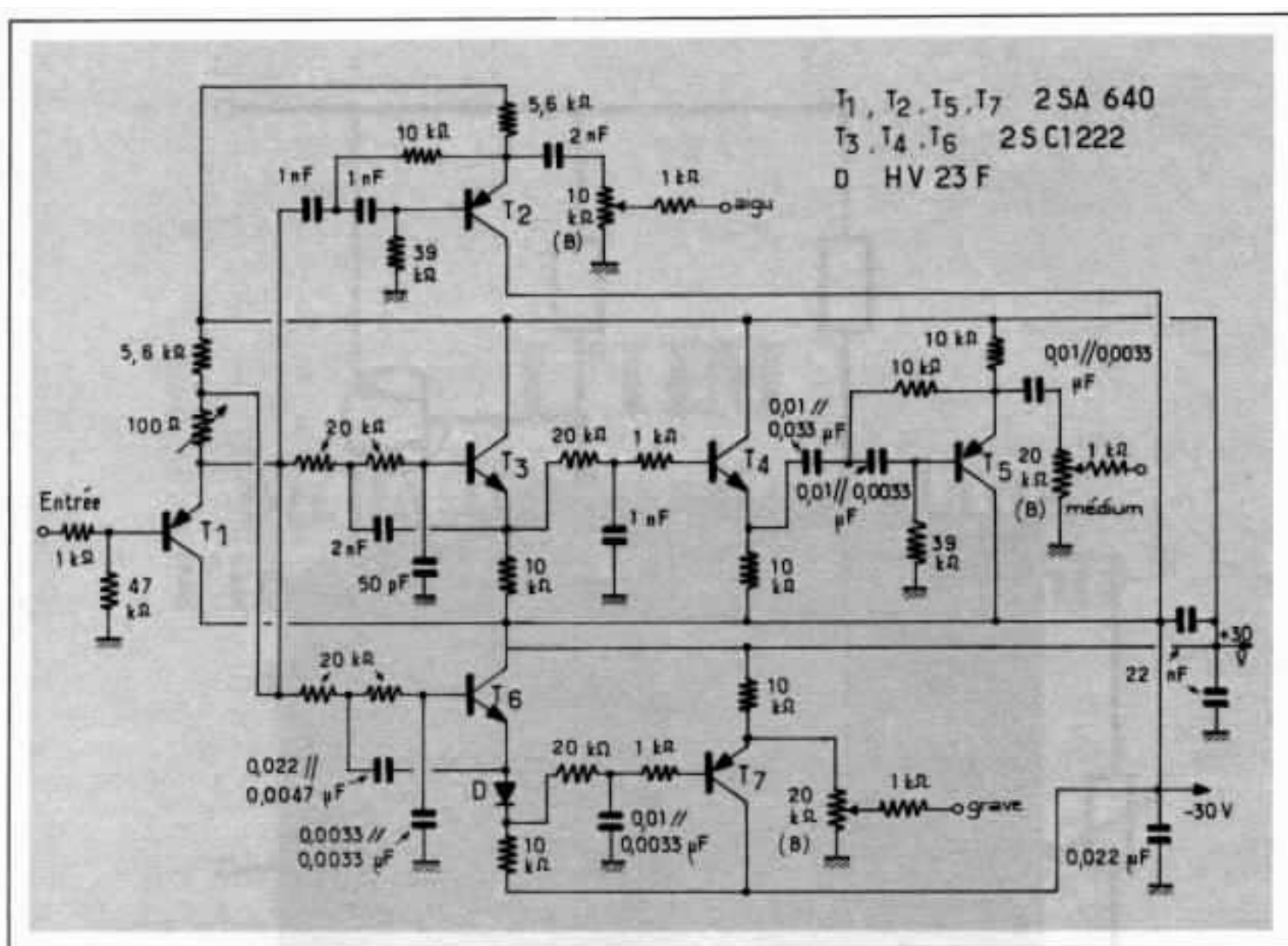


Fig. 16 - Une des premières versions du filtre Kanéda à trois voies. Son avantage était d'être très simple. Le taux de distorsion de l'ensemble restait cependant de l'ordre de 0,03% ce qui est très bon. Remarquer l'absence de condensateur d'entrée et le couplage en direct de la voie grave.

moins de difficultés à régler les niveaux respectifs des trois voies, un phénomène bien curieux, dont la seule raison explicable devrait être le facteur d'amortissement (chose encore difficile à confirmer)

En revenant au filtre décrit ici,

il est certain qu'il surpasse de nombreux autres, par sa neutralité totale, son absence de distorsion audible, sa définition digne du même préamplificateur, et bien d'autres qualités que seule une écoute attentive d'un disque révélera.

Références

Radio Experimenter's Magazine
 "STEREO TECHNIC"
 March 1974, February 1974,
 February 1976, January 1978.
Radio Gijutsu, April 1968.

**Page non
disponible**

L'IIM

ou la distorsion dans l'interface amplificateur enceinte acoustique

*Matti Ojala
Jorma Lammasniemi*

La possibilité de distorsions par intermodulation dynamique apparaissant dans l'interface amplificateur haut-parleur est discutée. Cette distorsion est produite dans les amplificateurs utilisant une valeur élevée de contre-réaction et ayant une valeur modérée ou haute pour l'impédance de sortie en boucle ouverte en comparaison de l'impédance du haut-parleur.

Le mécanisme est un phénomène d'intermodulation entre le signal et sa réplique retardée, générée par le haut-parleur, et se propageant dans la boucle de contre-réaction.

L'étude qui suit a fait l'objet d'une publication présentée par les auteurs lors de la 59ème convention de l'Audio Engineering Society à Hambourg en Mars 1978. Le grand intérêt de cette analyse est d'essayer de proposer une explication rationnelle aux différences audibles pouvant exister entre plusieurs amplificateurs à priori identiques, principalement dans le registre grave.

INTRODUCTION

La qualité du son reproduit par un système haute fidélité, dans le grave et l'extrême grave, est très souvent qualifiée par des termes subjectifs tels que : «ferme», «mou», «sec», «doux». Au niveau des enceintes acoustiques, les modifications apportées au son peuvent être expliquées par les diverses caractéristiques techniques des haut-parleurs, filtres et enceintes. Les différences apparaissant entre amplificateurs posent un plus sérieux problème, parce que bien évidemment le niveau de distorsion harmonique à ces fréquences est habituellement faible, la réponse en fréquence relativement plate et le facteur d'amortissement pratiquement toujours plus que suffisant.

La question intrigante, souvent rencontrée en pratique, est d'expliquer les différences perceptibles pouvant exister dans l'extrémité basse du spectre de fréquence, quand le même local d'écoute et les mêmes enceintes acoustiques sont utilisés et que seul l'amplificateur est changé.

L'analyse qui suit tend à expliquer que certaines configurations de circuit d'amplificateur de puissance «sonne» différemment, bien que la différence ne

* Traduction de l'anglais par Gérard Chrétien

soit pas directement expliquée par des grandeurs électriques mesurables des circuits. Il est possible de répondre en partie à cette question en montrant que la réaction générée par le haut-parleur vis à vis du signal principal peut dans certaines conditions se propager dans la boucle de contre-réaction d'un amplificateur de puissance et créer des interférences avec le signal direct lui-même.

2-LE HAUT PARLEUR EN TANT QUE CHARGE

Le haut-parleur dynamique constitue une charge, en partie active, pour l'amplificateur. Beaucoup de choses ont été écrites au sujet de ce comportement [voir par exemple, 1-5], nous ne présentons ici qu'une courte liste des facteurs les plus importants affectant l'interface enceinte acoustique -amplificateur.

Effets linéaires

La compliance de la suspen-

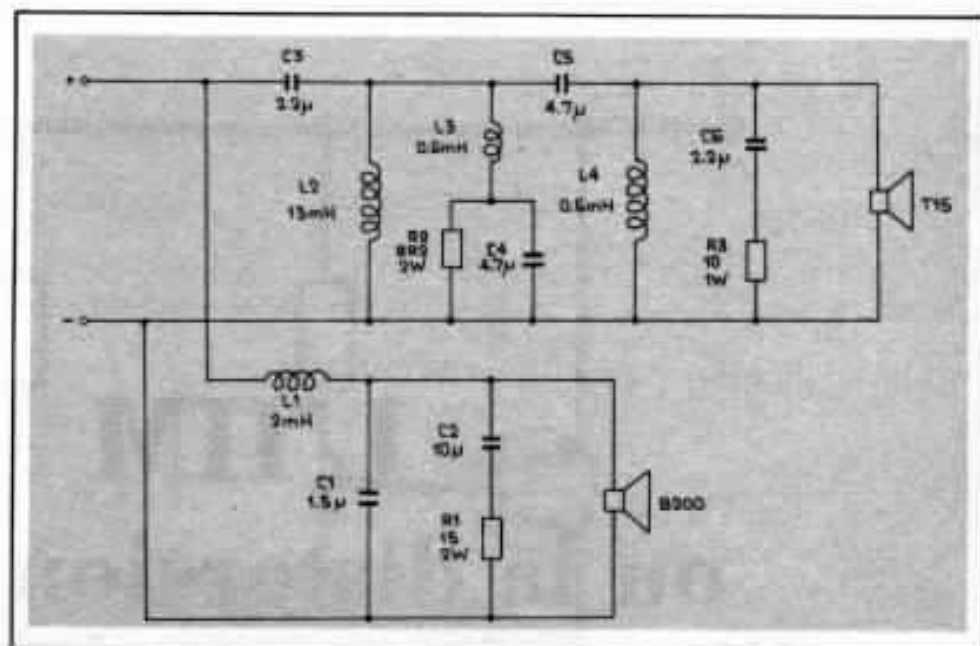


Fig 1 : Exemple de filtre répartiteur deux voies élaboré, utilisant un total de dix éléments réactifs

sion et la masse du cône d'un haut-parleur forment un oscillateur mécanique amorti, résonnant dans la gamme de fréquence de 20-100 Hz pour le boomer et dans des zones de fréquences respectivement plus élevées pour le médium et l'aigu.

D'autres résonances mécani-

ques sont produites par les diverses parties mobiles du cône excitées par la bobine mobile, qui ne sont pas nécessairement couplées à celle-ci de manière rigide.

Toutes ces résonances mécaniques produites sont l'analogue de vibrations générées par des circuits oscillants accordés, en

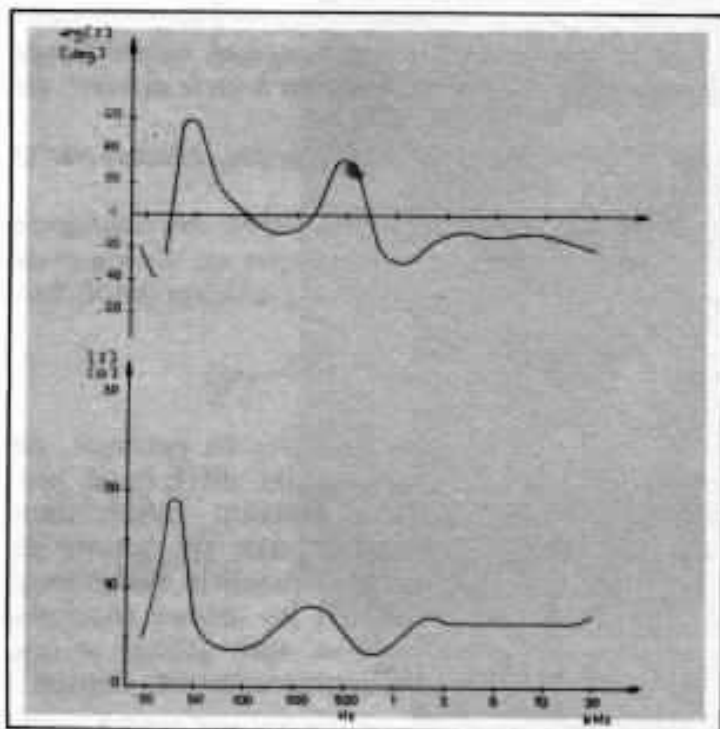


Fig 2 : Amplitude et phase de l'impédance de l'enceinte AR3a, mesurées avec les contrôles en position médiane. Les fréquences de résonance sont 32 Hz, 330 Hz et 2,5 kHz.

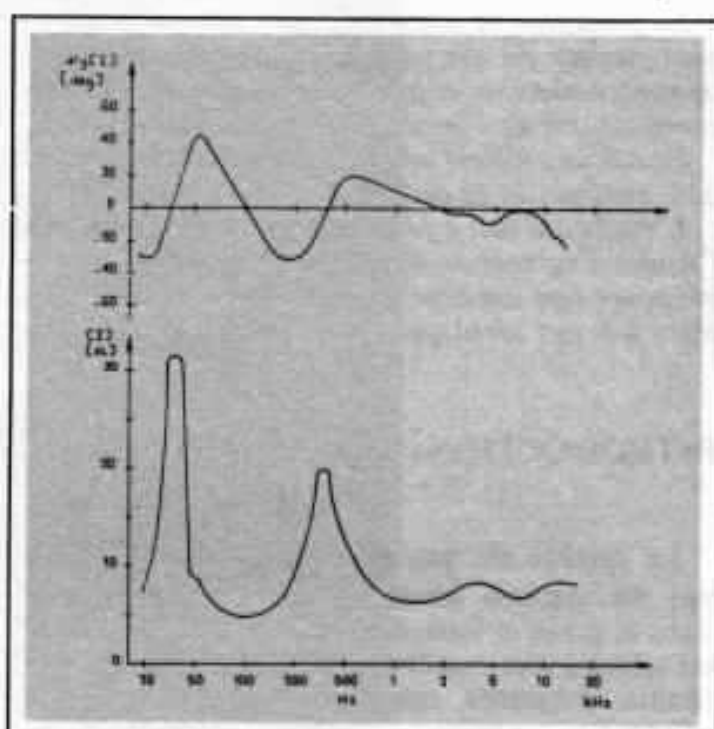


Fig 3 : Amplitude et phase de l'impédance de l'enceinte Yamaha NS1000 Monitor, mesurées avec les contrôles en position médiane. Les fréquences de résonance se situent à 38 Hz, 410 Hz et 5,5 kHz.

série avec la bobine mobile.

Le filtre répartiteur se comporte comme une charge réactive complexe spécialement aux alentours de la fréquence de coupure.

La figure 1 représente un filtre moderne à deux voies avec dix éléments [6]. Les figures 2 et 3 visualisent les impédances de deux enceintes bien connues, mettant en évidence à la fois la résonance du cône et celle du filtre répartiteur.

L'énergie est stockée dans toutes ces réactances, principalement aux résonances. Ces réactances ne peuvent dissiper cette énergie et la dissipation interne du haut-parleur lui-même est faible à ces résonances, si bien que la majeure partie de l'énergie sera réinjectée dans l'étage de sortie de l'amplificateur.

Effets non linéaires

La non linéarité de la suspension et les défauts d'uniformité du champ magnétique dans l'entrefer de la bobine mobile, créent des non linéarités dans le haut-parleur. La pulpe de papier est souvent utilisée comme matériau pour la fabrication du cône, son comportement peut-être considérablement non linéaire, spécialement si l'épaisseur est réduite.

Une partie de ces non linéarités se manifesteront comme un effet secondaire sur la courbe d'impédance, particulièrement à la fréquence de résonance du cône.

La non linéarité a pour effet de présenter une charge variable et non linéaire pour l'amplificateur.

Effets générateurs

La fréquence de coupure du cône, les réponses retardées et les oscillations entretenues contribuent à créer des vibrations mécaniques sans rapport avec le signal original délivré par

l'amplificateur. Les vibrations parasites sont directement couplées à la bobine mobile, qui se comporte comme un générateur de courant, produisant une force contre-électromotrice correspondante aux bornes de sortie de l'amplificateur. Le niveau de cette fem se situe entre 10-25 dB en dessous du signal de commande. La figure 4 montre la réponse à un train d'ordre de 1 KHz.

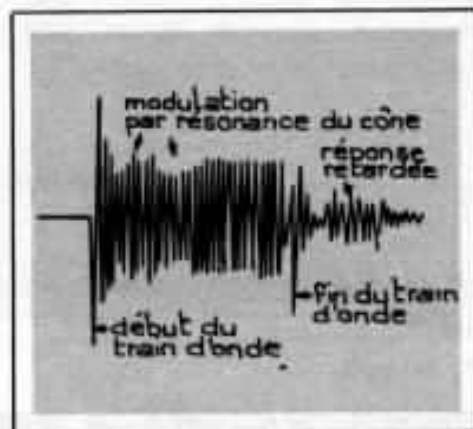


Fig 4 : Réponse acoustique typique d'une enceinte à un train d'onde à 1 kHz. Le début et la fin du régime transitoire, la modulation d'amplitude à la résonance du cône et la réponse retardée, sont nettement visibles.

Les réflexions acoustiques sur les parois de l'enceinte, ainsi que les pressions sonores des ondes réfléchies par le local d'écoute créent également des vibrations dans le cône à un niveau moindre bien entendu. La figure 5 représente ce couplage acoustique, lequel n'est significatif que près de la fréquence de résonance du cône. L'effet est visualisé sur la figure 6, où le signal de commande est un signal carré.

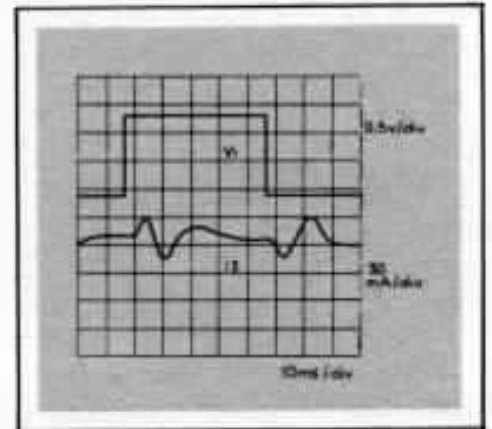


Fig 6 : Couplage acoustique mesuré avec un signal carré de 10 Hz. Deux AR3a étaient employées espacées de 1 cm. Le résultat obtenu recoupe celui de la figure 5, la résonance du cône est fortement dominante.

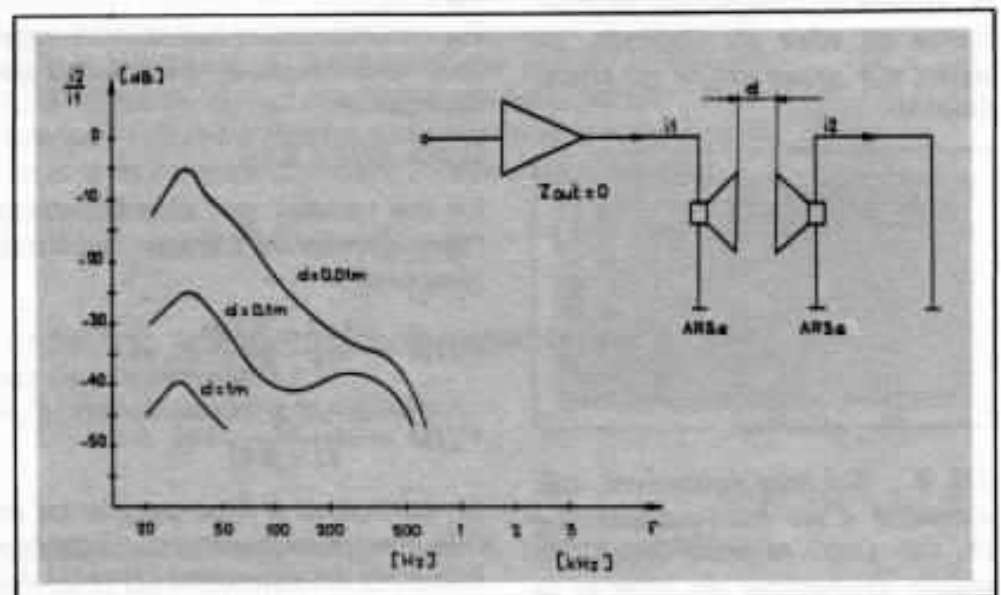


Fig 5 : Couplage acoustique entre deux enceintes AR3a, mettant en évidence l'effet générateur. Un signal sinusoïdal est utilisé. Le couplage acoustique n'est significatif qu'aux alentours de la fréquence de résonance du cône du boomer.

Sommairement

La figure 7 indique la relation entre tension et courant pour les enceintes AR et YAMAHA à la fréquence de résonance du boomer. Un signal triangulaire a été utilisé.

La figure 8 montre un circuit équivalent, très simplifié, d'un haut-parleur, tenant compte des effets précédemment cités.

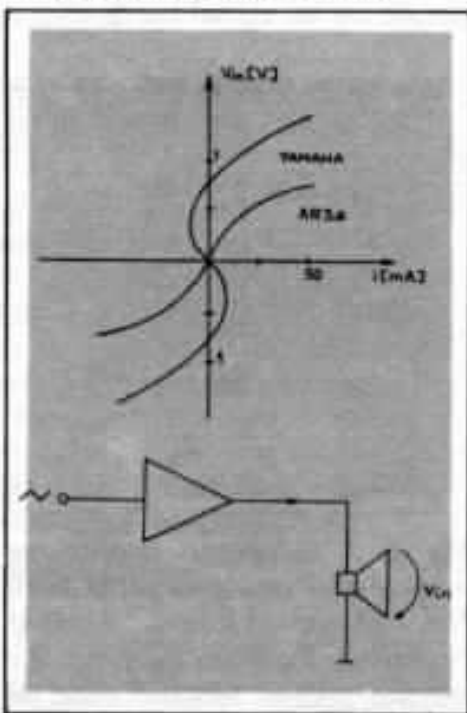


Fig 7 : Relations tension-courant de l'AR 3a et la Yamaha NS1000M à la fréquence de résonance du cône du boomer. Le signal d'attaque utilisé est triangulaire.

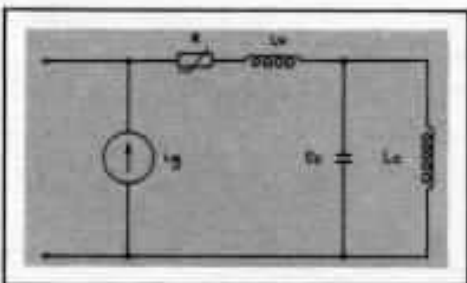


Fig 8 : Schéma équivalent très simplifié d'un haut-parleur. L_c et C_c sont respectivement la masse dynamique du cône et la compliance de la suspension. L_v est l'inductance de la bobine mobile, R sa résistance incluant la résistance de radiation et i_g est la source de courant génératrice

3-SYSTEME AMPLIFICATEUR - HAUT-PARLEUR

Considérons un amplificateur contre-réactionné ayant deux charges différentes comme indiqué sur la figure 9. Une résistance pure R est utilisée pour mesurer les caractéristiques de l'amplificateur et un haut-parleur, ici représenté par son schéma équivalent, constituant la véritable charge. En tenant compte de la figure 8, le haut-parleur est supposé avoir une résistance linéaire R et une inductance de bobine mobile L_v

négligeable pour faciliter l'analyse.

Il est bien entendu que le circuit analogue employé est loin d'être parfait, mais le but de l'analyse est d'illustrer seulement le mécanisme de base de l'IIM, et non pas de déterminer celle-ci avec une haute précision. De même, l'amplificateur est supposé avoir une impédance d'entrée infinie et aucune compensation de fréquence. A noter qu'un paramètre inhabituel, l'impédance Z en boucle ouverte, a été incorporée dans le circuit.

Analyse théorique

Le signal d'entrée V_i est une fonction échelon dont la transformée de Laplace

$$V_i = v_i/s \quad (1)$$

Pour la charge résistive R , les tensions V_a et V_s sont respectivement

$$V_a(s) = \frac{A(1+Z/R)}{s(1+Z/R+\beta A)} v_i \quad \text{et} \quad (2)$$

$$V_s(s) = \frac{A}{s(1+Z/R+\beta A)} v_i \quad (3)$$

Celles-ci sont de parfaites fonctions échelon et la seule différence par rapport à l'équation classique d'un système contre-réactionné est le terme Z/R .

Un amortissement convenable implique que l'impédance en boucle fermée soit beaucoup plus faible que l'impédance du haut-parleur par exemple :

$$R \gg Z/(1+\beta A), \quad (4)$$

Ce qui conduit aux simplifications suivantes en prenant les transformées inverses de Laplace, les tensions sont obtenues dans le domaine temporel.

$$V_a(t) = \frac{A(1+Z/R)}{(1+\beta A)} v_i \quad \text{et} \quad (5)$$

$$V_s(t) = \frac{A}{(1+\beta A)} v_i \quad (6)$$

Si maintenant le haut-parleur est incorporé en tant que charge la situation change radicalement. Supposons que l'amortissement vérifie la relation (4), les équations (2) et (3) deviennent :

$$V_a(s) = \frac{A}{1+\beta A} \left[-\beta Z \left(s + \frac{v_i}{s} \left(1 + \frac{Z}{R} \right) \frac{s^2 LC + sL/(R+Z) + 1}{s^2 LC + sL/R + 1} \right) \right], \quad \text{et} \quad (7)$$

$$V_s(s) = \frac{A}{s(1+\beta A)} v_i \quad (8)$$

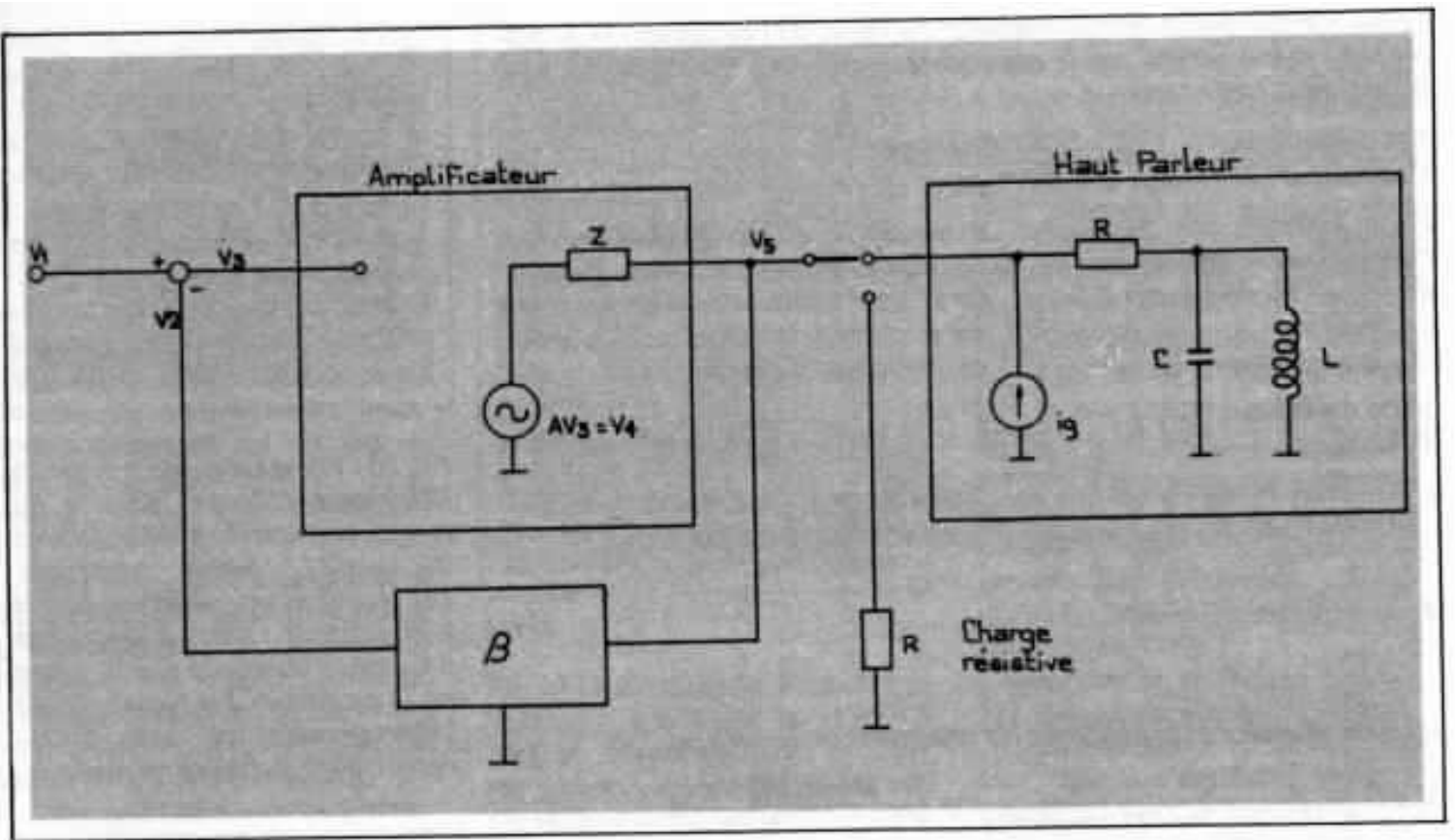


Fig 9 : Circuit équivalent de l'ensemble amplificateur haut parleur utilisé dans cette étude. L'amplificateur possède une contre réaction résistive β , en gain de A et une impédance de sortie en boucle ouverte Z . Aucun paramètre lié à la fréquence n'est incorporé dans le circuit de l'amplificateur. Le haut-parleur est supposé avoir une inductance de bobine mobile négligeable et est considéré comme parfaitement linéaire.

Comme on peut le voir aucun changement n'affecte la tension de sortie $V_3(s)$ de l'amplificateur. C'est ce qui était escompté, la contre-réaction contrôlant effectivement la tension de sortie. Cependant la tension de commande interne $V_4(s)$ contient maintenant des termes complexes provenant des paramètres du circuit équivalent du haut-parleur. Pour étudier le comportement de cette tension dans le domaine temporel, la transformation inverse de Laplace appliquée à l'équation (7) donne :

$$V_4(t) = \frac{A}{1 + \beta A} \left\{ -\beta Z I(t) + v_1 \left(1 + \frac{Z}{R} \right) \left[1 - \frac{Z}{(R + Z)} \frac{1}{Q} \exp \left(-\frac{\omega t}{2Q} \right) \sin \omega t \right] \right\} \quad (9)$$

où

$\omega = (1/LC - 1/4 R^2 C^2)^{1/2}$, la fréquence de résonance du cône du haut-parleur, les sorties court-circuitées

et $Q = \omega RC$, le facteur de qualité à la résonance.

Supposons que :

$$1 + \beta A \gg 1, \quad (10)$$

Ce taux de contre-réaction est supposé assez élevé, disons supérieur à 30 dB, le premier terme de l'équation (9) devient :

$$V_4(t) = -Z I(t). \quad (11)$$

Comme on peut le constater, le générateur de courant inclus dans le schéma équivalent du haut-parleur, sera directement multiplié par l'impédance en boucle ouverte de l'amplificateur. Cependant en divisant

l'équation (11) par le niveau maximal du signal de l'équation (5), le rapport du signal généré par le haut-parleur par celui du signal de commande peut être obtenu :

$$\frac{V_4(t) \text{ générateur}}{V_4(t) \text{ signal}} = \frac{Z}{R+Z} \frac{I(t) \text{ générateur}}{I(t) \text{ signal}} \quad (12)$$

En se référant aux figures 4-6, le niveau de l'effet générateur dans l'amplificateur semble être de 10-30 dB en dessous du niveau nominal du signal, même quand $Z \gg R$. De la même manière, le dernier terme de l'équation 9, peut être divisé par le niveau du signal de l'équation (5), laquelle donne le rapport de l'oscillation au signal dans V_4 :

$$\frac{V_4(t) \text{ oscillation}}{V_4(t) \text{ signal}} = 1 - \frac{Z}{R+Z} \frac{1}{Q} \exp\left(-\frac{\omega t}{2Q}\right) \sin \omega t. \quad (13)$$

L'équation 13 représente une oscillation amortie à la fréquence de résonance du cône. Il y a un minima négatif et un maxima positif :

$$T = -\frac{1}{\omega} (\arctan 2Q + n\pi) \quad (14)$$

où n est un entier et le maxima et le minima sont donnés par :

$$V_4(T) = 1 - \frac{Z}{R+Z} \frac{2}{(1+4Q^2)^{1/2}} \exp\left(-\frac{\arctan 2Q + n\pi}{2Q}\right). \quad (15)$$

Supposons $Z \gg R$, quelques formes d'ondes typiques de l'équation 13 sont tracées en figure 10 et les valeurs du premier minima et maxima de l'équation (15) sont tracées en figure 11 en fonction du facteur de qualité Q . L'amplitude de l'oscillation augmente lorsque Q décroît. L'explication de ce comportement a priori curieux est qu'un circuit résonant à faible Q absorbe plus d'énergie dans un spectre de fréquence plus large.

Pour contrôler la validité de l'approximation qui a été faite, les réponses $V_4(t)$ mesurées et calculées sont représentées en figure 12 pour les deux enceintes AR et YAMAHA des figures 2 et 3. Comme on peut le voir, les résultats calculés ne sont pas très éloignés des résultats mesurés, si l'on considère en particulier la complexité réelle d'une enceinte trois voies.

L'analyse précédente et les mesures montrent que le haut-parleur réinjecte dans l'amplificateur un signal qui peut être du même ordre de grandeur que le signal de commande original. La pire des situations est obtenue quand l'impédance en boucle ouverte de l'amplificateur est supérieure à l'impédance de charge spécifiée. L'amplificateur doit donc contrôler simultanément

deux signaux, le signal de commande original et le signal généré par le haut-parleur.

Il est logique de supposer que si l'amplificateur a des non linéarités internes, ces deux signaux interféreront et produiront des composantes d'intermodulation.

Comme le signal d'entrée se compose généralement d'une large bande de fréquence et que le signal généré par réaction du haut-parleur se situe principalement aux composantes des fréquences de résonance du cône et aussi du filtre répartiteur, il est probable que des «colorations» autour de ces fréquences peuvent apparaître.

En se superposant, le maxima positif représenté en figure 11, peut causer des écrêtages accidentels au voisinage de la puissance maximale délivrable par

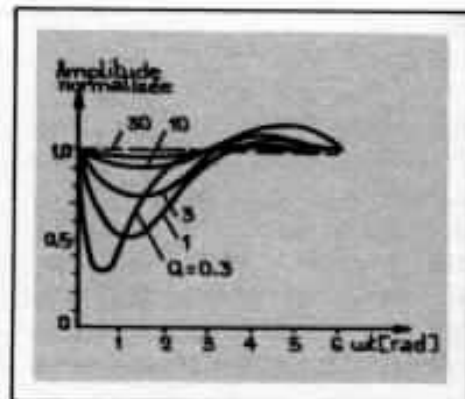


Fig 10 : Forme d'onde typique de l'équation (13) en fonction du temps normalisé, avec le facteur de qualité comme paramètre. Les oscillations générées par le haut-parleur sont d'amplitude d'autant plus élevée que la valeur de Q est faible. La forme d'onde correspondant à une charge résistive est indiquée en pointillé.

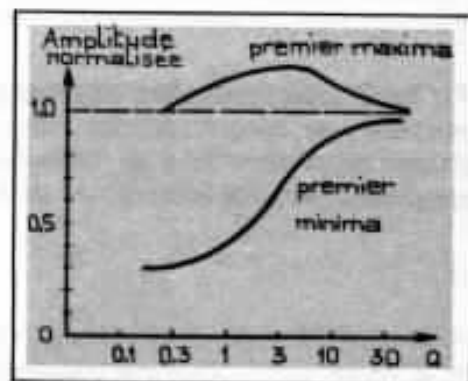


Fig 11 : Valeurs du premier minimum et du premier maximum de l'équation (13) en fonction du facteur de qualité Q

l'amplificateur.

Les raisons élémentaires pour qu'une distorsion se produise sont :

- Le haut-parleur ne consomme pas simplement de la puissance mais il en stocke également et la réémet.

- Le haut-parleur se comporte en partie comme un générateur actif et bien que l'impédance de sortie en boucle fermée de l'amplificateur soit apparemment très basse, ce n'est pas physiquement une véritable impédance, car ayant été simulée par la contre-réaction. En fait, celle-ci oblige le signal

généralisé par le haut-parleur à circuler dans la boucle.

Les non linéarités du haut-parleur négligées dans l'analyse ci-dessus, jouent un rôle important dans la création de distorsion d'IM et d'IIM.

Si $Z \ll R$, la non linéarité du haut-parleur sera « réfléchi » à l'intérieur de la boucle de contre-réaction, chaque variation non linéaire du courant du haut-parleur générera un comportement non linéaire dans V_4 , exactement comme dans l'équation (11).

Ainsi même si l'amplificateur est absolument sans distorsion, la non linéarité du haut-parleur dégradera ses spécifications de distorsion effective à celles du haut-parleur, divisée par la valeur de la contre-réaction.

L'analyse précise de ce phénomène n'est pas le but du présent article, nous voulons simplement illustrer la création d'un signal induit par le haut-parleur sans rentrer dans le détail de la cause de ces non linéarités.

4-DEFINITION DE L'IIM

En considérant l'analyse précédente, la possibilité de distorsion d'intermodulation est quasi-évidente.

Plus généralement, ce type de raisonnement peut être appliqué à tous les quadripôles conduisant à la définition suivante de l'IIM. *L'intermodulation d'interface est une forme de distorsion dans un quadripôle causé par l'interaction non linéaire entre le signal de sortie du quadripôle et un signal extérieur injecté dans la sortie.*

La définition générale est spécialement utilisée dans les équipements de reproduction sonore pour dénommer la distorsion provenant de l'énergie stockée ou générée dans une enceinte acoustique réinjectée dans la sortie de l'amplificateur de puissance.

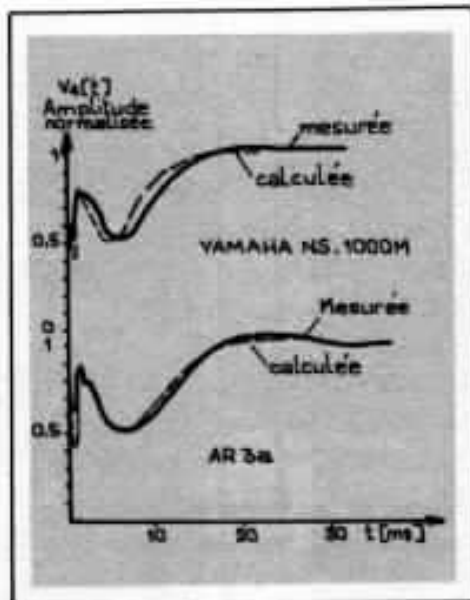


Fig 12 : Les réponses mesurées et calculées pour l'AR 3a et la NS 1000M. Seules les deux premières résonances vers 35 Hz et 400 Hz étaient prises en compte dans les valeurs calculées. La bonne concordance obtenue montre que le modèle théorique utilisé est correct.

5-MESURE DE L'IIM

Une méthode optimale pour mesurer l'IIM est de simuler les opérations normales, et la réaction physique du haut-parleur, en faisant fonctionner l'amplificateur sur un signal appliqué à l'entrée de celui-ci et en lui injectant un signal à la sortie simultanément. Si de l'IIM apparaît, elle se manifestera par les produits d'intermodulation se présentant à la sortie, entre les deux signaux. La méthode de mesure est une variante de la méthode de mesure par différence de fréquences entre deux signaux. (Méthode CCIF)

Cependant un problème particulier doit être résolu, le signal réinjecté en sortie de l'amplificateur doit à l'extrême, avoir le même niveau de puissance que celui délivré par l'étage de sortie de l'amplificateur.

Pour contrôler la validité de la théorie, le circuit de la figure 13

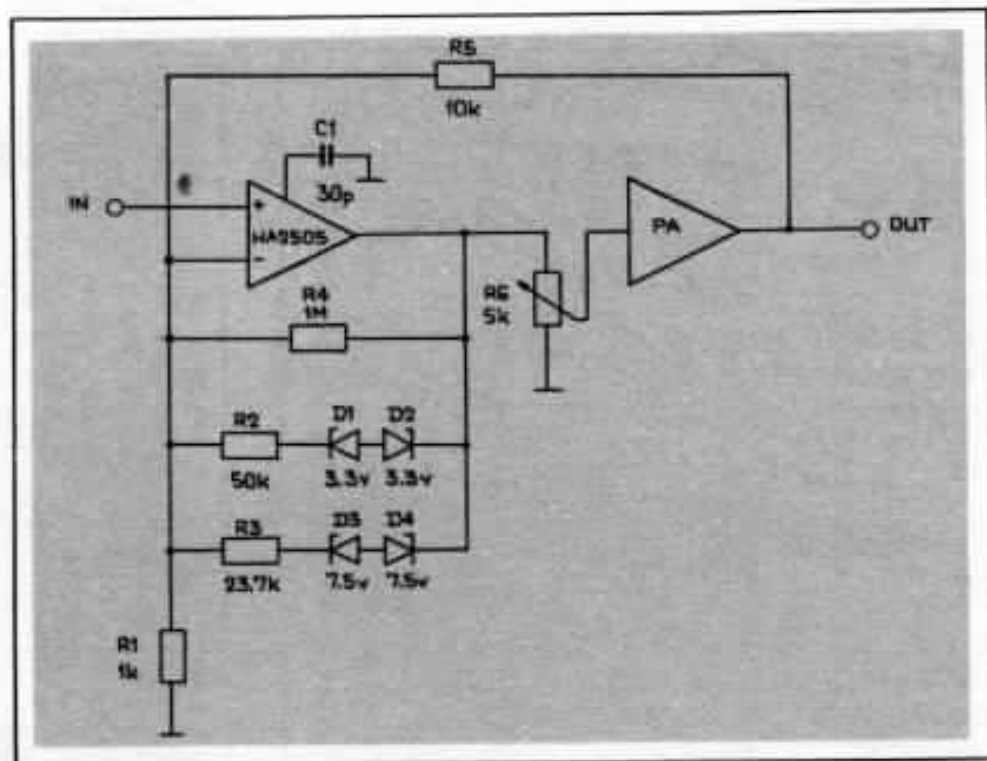


Fig 13 : Circuit utilisé pour les mesures de distorsion. L'amplificateur opérationnel HA2505 possède un gain sur petit signal de 60 dB et crée une non linéarité contrôlée avec les diodes Zener D_1 - D_4 . Quatre configurations de l'étage de puissance ont été employées (fig 14.17), le potentiomètre R_6 permet d'égaliser le gain en tension à l'unité pour chacun de ces types de circuits.

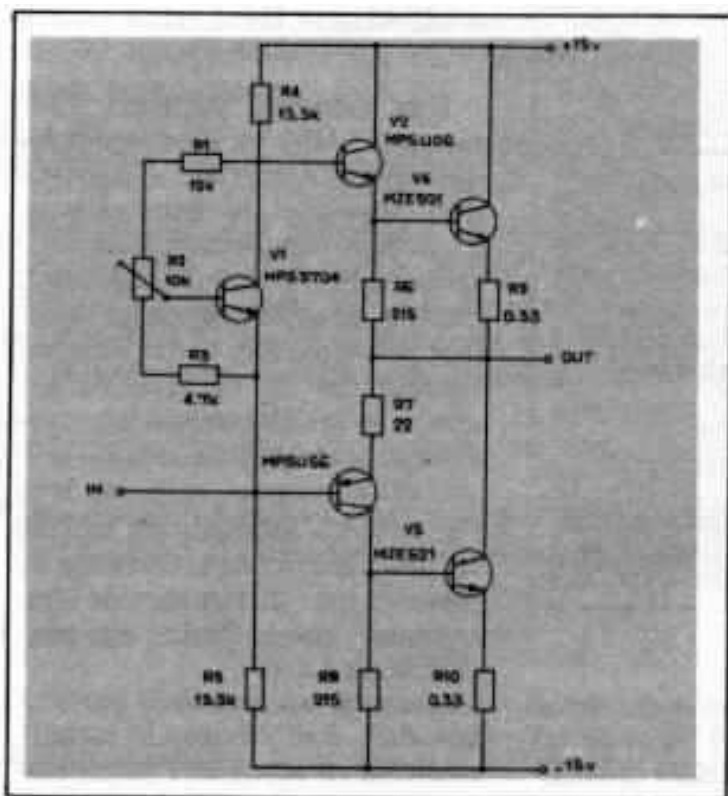


Fig 14 : Amplificateur de puissance à structure quasi complémentaire (circuit A). L'impédance de sortie en boucle ouverte et en boucle fermée est respectivement de $2,7 \Omega$ et de $0,027 \Omega$. Courant de repos 100mA .

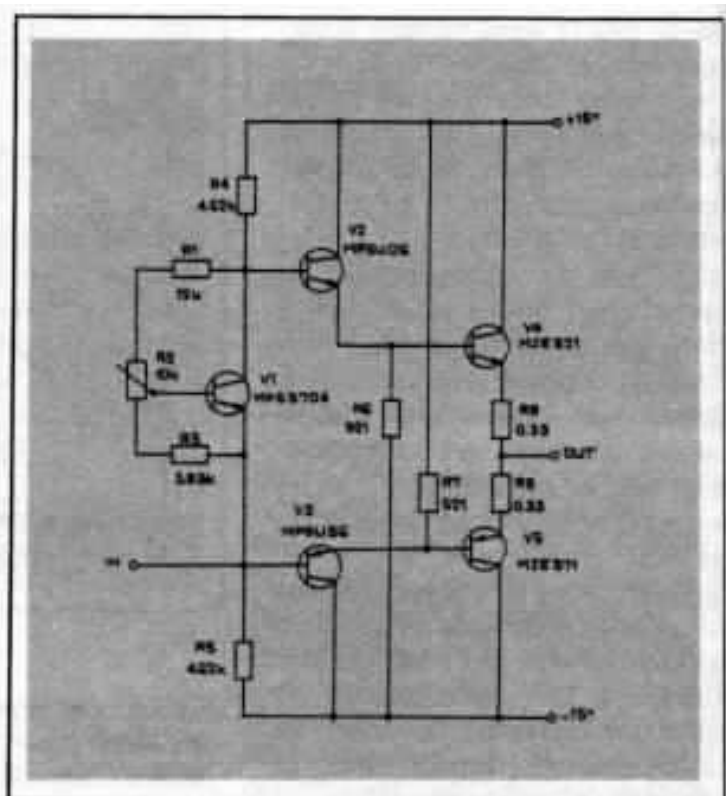


Fig 15 : Structure complémentaire employant un double émetteur follower (circuit B). L'impédance de sortie en boucle ouverte et en boucle fermée est respectivement de $1,2 \Omega$ et de $0,012 \Omega$. Courant de repos 500mA .

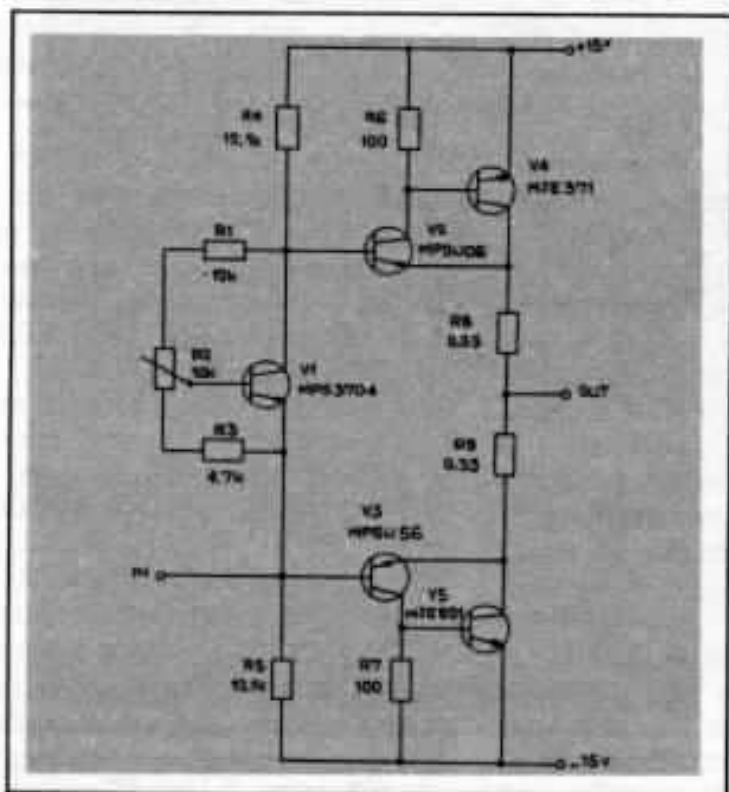


Fig 16 : Structure hybride à contre réaction locale (circuit C) L'impédance de sortie en boucle ouverte et en boucle fermée est respectivement de $0,9 \Omega$ et de $0,009 \Omega$. Courant de repos 100mA .

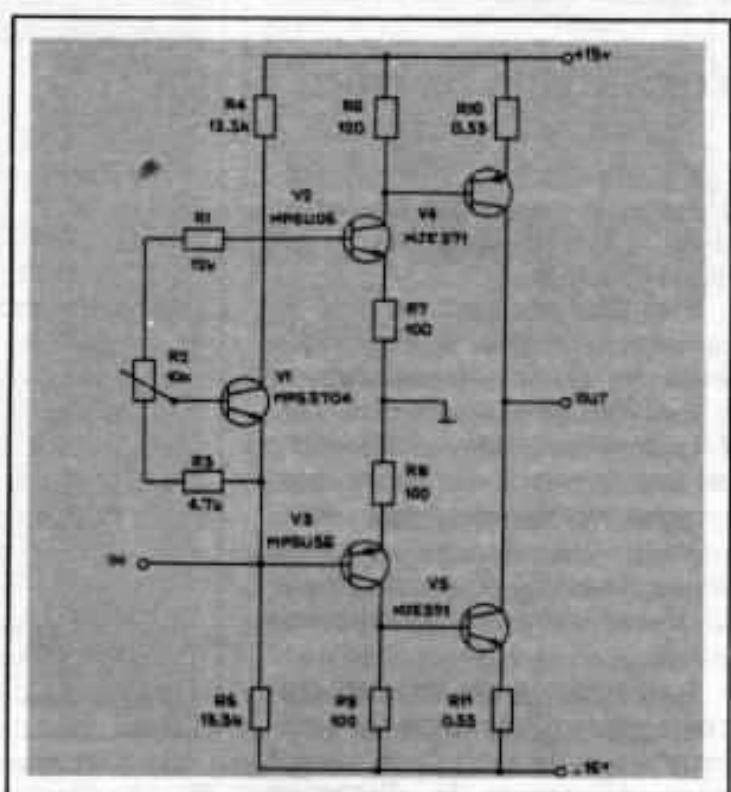


Fig 17 : Circuit complémentaire avec émetteur à la masse (circuit D). L'impédance de sortie en boucle ouverte et en boucle fermée est respectivement de 60Ω et de $0,6 \Omega$. Courant de repos 100mA .

a été utilisé pour l'expérimentation. L'amplificateur opérationnel HA 2505, complété par les diodes zener D_1 à D_4 , a été utilisé pour créer une non linéarité douce contrôlée. La non linéarité produite a été choisie volontairement plus grande pour prévenir les effets secondaires pouvant interférer avec les résultats et masquer le phénomène.

Les figures 14 à 17 représentent les quatre configurations simples d'étage de sortie d'amplificateurs de puissance utilisés couramment. Le potentiomètre R_6 à la sortie du HA 2505 est utilisé pour ajuster le gain en boucle ouverte sur petit signal, de tous les circuits à 60 dB, et un taux de contre-réaction de 40 dB produisant un gain global de 20 dB.

Quand la non linéarité contrôlée par $D_1 - D_4$ est éliminée, la distorsion d'intermodulation (IM) du circuit de la figure 15, mesurée avec la méthode suivante, est inférieure à 0,03% pour tous les circuits de puissance.

La méthode de mesure utilisée est la suivante :

1 - Des signaux sinusoïdaux de 50 Hz et 1025 Hz d'égale amplitude sont appliqués à l'entrée et ajustés pour produire le niveau de sortie désiré sur une charge de 4 Ohms.

2 - L'amplitude des produits d'intermodulation entre les deux signaux est mesurée en sortie avec un analyseur de spectre Hewlett Packard 3581A et la valeur efficace de la distorsion d'intermodulation est calculée en utilisant le signal de 1025 Hz comme référence.

3 - Le signal de 50 Hz est supprimé sur l'entrée et la sortie de l'amplificateur est déconnectée de la résistance de charge. Une source de courant sinusoïdal de 50 Hz, voir figure 18, est connectée à la charge et ajustée pour produire le même niveau de signal à 50 Hz que dans le paragraphe 1. La sortie de l'amplifi-

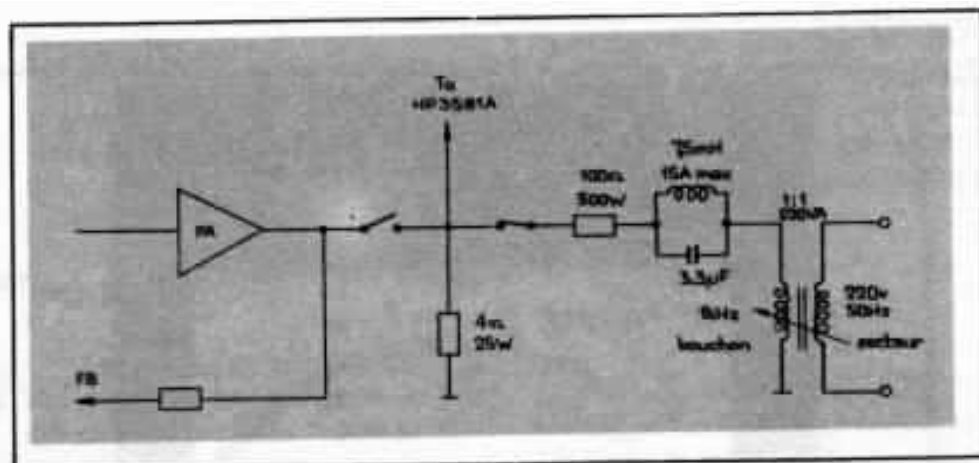


Fig 18 : Générateur de signal utilisé pour simuler l'IIM. Le signal de haute puissance est fourni à partir du secteur. Un circuit bouchon accordé sur 1 kHz est utilisé pour éviter toute interférence des signaux compte tenu de la non linéarité du transformateur d'alimentation ajustable.

cateur est ensuite reconnectée.

4 - La distorsion d'intermodulation est à nouveau mesurée comme au paragraphe 2.

5- La procédure des étapes 1 à 4 est répétée pour différents niveaux du signal de sortie et pour les diverses configurations

de l'étage de sortie.

Les résultats sont indiqués en figure 19, le trait plein représente la distorsion d'intermodulation, mesurée avec le signal d'attaque en entrée, en suivant les étapes 1 et 2. Cette distorsion est la même pour tous les circuits A-D. Les

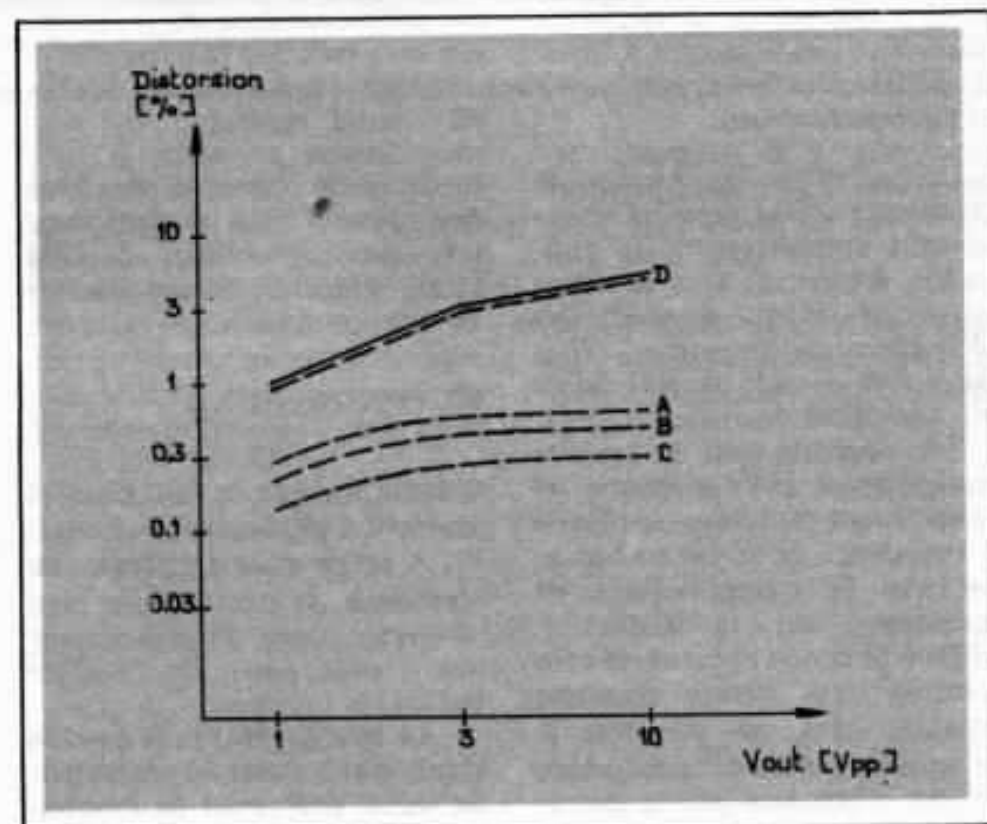


Fig 19 : Résultat des mesures en fonction de la tension de sortie. La ligne continue représente la distorsion mesurée avec les signaux de 50 Hz et 1025 Hz à l'entrée. Les lignes pointillés indiquent la distorsion IIM pour les diverses configurations du circuit de sortie, le signal de 50 Hz étant appliqué en sortie.

les deux. La non linéarité du haut-parleur peut-être considérée comme équivalente à n'importe quelle non linéarité en boucle ouverte de l'amplificateur, bien qu'elle soit transmise par la boucle de contre-réaction, à moins que l'impédance de sortie de l'amplificateur en boucle ouverte soit suffisamment faible vis à vis de l'impédance de charge spécifiée.

- Cette distorsion, dénommée ici (IIM) sera plus apparente aux basses fréquences où le signal généré par le haut-parleur est maximum.

- La prédisposition que peut avoir un amplificateur vis à vis de la distorsion d'IIM peut être mesurée en utilisant une variante de la méthode par différence de fréquence (CCIF) où l'un des signaux est injecté à l'entrée et l'autre à la sortie. Dans le cas extrême ce second signal devra égaler en puissance le maximum délivrable par l'amplificateur, pour simuler le pire des cas pouvant apparaître, constituant un test reproductible représentatif de cet effet.

Les propriétés suffisantes que doit avoir un amplificateur pour éviter la distorsion par IIM sont :

- La sortie doit présenter une faible impédance en boucle ouverte pour atténuer convenablement le signal réinjecté en provenance du haut-parleur, avant qu'il ne pénètre dans la

contre-réaction.

- Une forte valeur du taux de contre-réaction doit être appliquée avec précaution, en prenant soin de considérer les effets inverses à ceux escomptés en matière d'amortissement susceptible d'apparaître.

- Les circuits de protection doivent être conçus pour ne pas devenir actifs sur le signal généré par le haut-parleur.

Il faut remarquer que la plupart des amplificateurs à tube ont intrinsèquement une valeur élevée de l'impédance de sortie en boucle ouverte et utilise une valeur modérée du taux de contre-réaction. Cette situation est pratiquement l'inverse de celle rencontrée avec les amplificateurs à semi-conducteur. La théorie présentée peut aussi expliquer certaines différences audibles entre ces technologies.

Il est bien évident que l'effet décrit ici est seulement l'un des nombreux phénomènes pouvant affecter la qualité de reproduction de fréquences basses. De plus, il semble peu probable que la distorsion d'IIM se manifeste dans de bien plus grandes proportions que la distorsion par intermodulation à moins qu'un mauvais fonctionnement du circuit de protection ne prédomine. Cependant, nous pensons que l'analyse proposée ici peut expli-

quer certaines des subtiles différences de rendu sonore pouvant exister entre diverses configurations de circuit ayant des spécifications similaires aux mesures conventionnelles.

BIBLIOGRAPHIE

[1] *Fryer, P.*, Loudspeaker distortions, can we hear them. Hi-Fi News & Record Review, July 1977, pages 51-57

[2] *Berman, J.M., and Fincham, L.R.*, The application of digital techniques to the measurement of loudspeakers. J. of the Audio Eng. Soc., 25 (1977) N° 6, pages 370-384.

[3] *Johnson, J.H.*, Power amplifiers and the loudspeaker load. Audio, August 1977, pages 32-40.

[4] *King, G.*, Interface 1, amplifier to loudspeaker. Hi-Fi News & Record Review, December 1976, pages 87-91.

[5] *Pramanik, S.K.*, Specifying the loudspeaker-amplifier interface. 53rd Conv. of the Audio Eng. Soc., preprint.

[6] *Wilkinson, J.H.*, High quality book-shelf speaker. Wireless World, October 1977, pages 42-46.

**Page non
disponible**

Une approche rationnelle du bras de lecture

1 - Considérations théoriques

Gérard Chrétien

Dans le numéro 5, deux aspects du bras de lecture ont été abordés : l'amortissement de l'ensemble bras-cellule et le matériau constitutif. Désireux d'aller plus en avant dans l'analyse du comportement du système bras-cellule, nous abordons dans cette première partie les considérations théoriques qui ont guidé Pierre Lurné dans l'élaboration de son bras. Pierre Lurné, diplômé en mécanique du solide, est surtout un passionné de haute-fidélité, et plus particulièrement du problème du bras de lecture. Aussi, mécontent de ne pas trouver sur le marché un bras satisfaisant ses exigences théoriques il entreprit la réalisation d'un bras, allant ainsi de l'analyse à la synthèse. La réalisation fera l'objet d'une seconde partie, examinons d'abord les points théoriques.

Lire un disque, c'est-à-dire traduire les informations stockées sous forme mécanique dans les ondulations du sillon en un signal électrique, qui soit un reflet aussi précis que possible de ces ondulations, n'est pas simple du tout.

Lorsque l'on pense que les nuances d'interprétation d'un jeu d'instrument, l'ambiance de la prise de son, la juste localisation de chaque instrument dans l'image sonore, bref tout ce qui fait d'un système un excellent système où la musique devient

vraie et vivante, est contenu dans le sillon sous forme de microélongations se situant quasiment au niveau du bruit, on comprend mieux qu'il ne faut rien négliger au niveau de la lecture pour sauvegarder tous ces détails et subtilités.

Bien sûr, le disque est souvent incriminé pour ne pas être à la hauteur du reste de la chaîne de restitution. Cependant, quiconque a eu l'occasion d'écouter ce que sont capables de fournir de «bons vieux» sillons livrés à un système de lecture très bien étu-

dié, est surpris par la quantité d'informations qu'il est possible d'en extraire.

La lecture n'est pas uniquement l'affaire de la cellule phonoelectrice. Parler d'une cellule en disant que le grave «manque d'assise», que l'aigu est «dur ou métallique»... n'a aucun sens si l'on ne considère pas le bras auquel elle est associée. C'est d'ailleurs bien là le problème. En effet la cellule et le bras de lecture forment un système, un tout irréductible (schéma fig 1) sur le plan des calculs, mesures et

résultats.

Une multitude de paramètres interdépendants forment un vrai casse tête :

- songez que la pointe de lecture est parfois soumise à des accélérations de plus de 2000 g ;

- songez que la précision de fabrication de la pointe doit être du micron, de plus, les formes modernes devant être parfaitement polies ne sont même plus de révolution ;

- songez que beaucoup de systèmes bras-cellule résonnent au beau milieu de la zone des voilures et sont rarement bien amortis ;

- songez qu'un bras, en dehors des problèmes de résonance, possède une aptitude à suivre les voilures qui dépend de la position dans l'espace de son centre de gravité ;

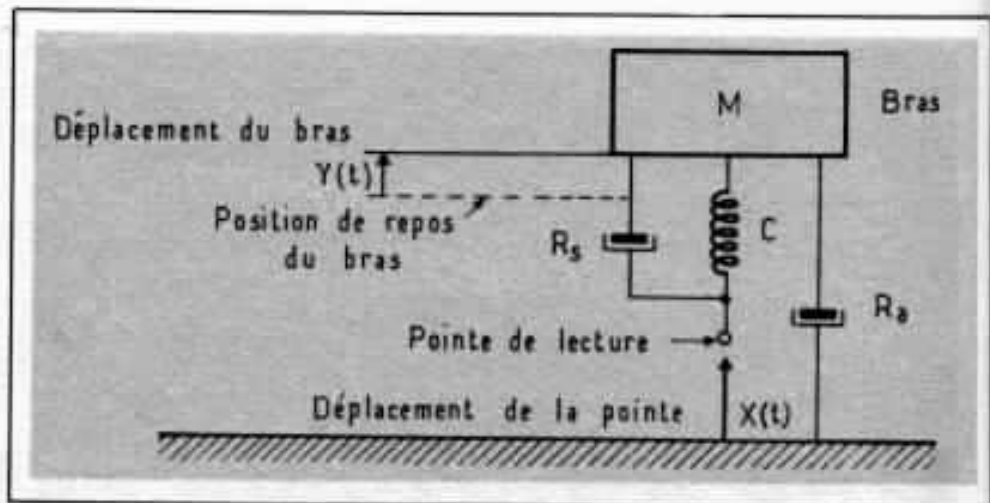
- songez que la force d'appui sur disque voilé varie du double du poids affichée à zéro.

Et là n'est qu'un bref aperçu des problèmes pouvant survenir lors de l'écoute de votre «super système»...

Lors de la réalisation d'un bras de lecture, le plus délicat est de déterminer l'importance relative des différents paramètres. Leur interaction permanente et la présence de nombreux problèmes du deuxième ordre (erreur de piste, antiskating...) ne facilitent pas les choses.

Les équations classiques d'équilibre statique sont largement insuffisantes ; elles doivent être corrélées avec le comportement dynamique de l'ensemble.

La démarche qui a guidé Pierre Lurné dans son étude en abordant chacun des points importants intéressera certainement le lecteur, car elle aide à mieux saisir l'importance et l'influence de chacun des paramètres. De plus la synthèse de tous ces aspects théoriques ont débouché sur une réalisation concrète ; cela aussi est important.



C : élasticité dynamique de l'équipage mobile
Rs : amortissement de l'équipage mobile de la cellule
Ra : amortissement du bras
M : masse effective de l'ensemble bras-cellule

Fig. 1 : Modèle employé par S.P. Lipshitz pour représenter l'ensemble bras-cellule. On remarquera qu'il forme un tout indissociable. En outre ce modèle est schématique car il est délicat d'assimiler la masse du bras à une masse ponctuelle sur le plan dynamique principalement.

Mais avant d'en parler, il convient d'examiner chacun des points qui en ont guidé l'élaboration.

1 - LA FREQUENCE DE RESONANCE

a - Comment la déterminer

Ce paramètre est sans aucun doute le problème principal de l'ensemble bras cellule.

Comme tout système mécanique, cet ensemble possède une résonance dont la fréquence conditionne la bonne lecture du disque. Cette fréquence est fonction des valeurs de la *masse effective* *M* et de l'*élasticité* dynamique* *s* de l'équipage mobile de la cellule.

$$f = 1 / 2 \pi \sqrt{Ms}$$

La masse effective est liée au moment d'inertie du système bras-cellule ramené au lieu géométrique de la pointe de lecture.

Pour préciser les idées, disons que *M* varie de 10 à 40 grammes et *s* de $10 \cdot 10^{-6}$ à $50 \cdot 10^{-6}$ cm/dyne.

* L'élasticité ou souplesse correspond à l'inverse de la raideur $s = 1/k$.

En combinant les extrêmes la fréquence de résonance peut varier dans une gamme de 3 à 15 Hz. Cependant il s'agit là de cas extrêmes et dans bien des systèmes cette résonance se situe entre 6 et 10 Hz.

La notion de masse effective et donc de moment d'inertie s'applique tout naturellement dans le plan horizontal et dans le plan vertical. Cela ne pose pas de problème pour beaucoup de bras possédant des valeurs inertielles orthogonales pratiquement identiques.

Toutefois pour des réalisations aux formes complexes, ces valeurs sont franchement différentes et conduisent à des fréquences de résonance différentes dans le plan horizontal et dans le plan vertical, ce qui n'est pas pour simplifier le problème.

Une précision s'impose également quant à l'élasticité. L'élasticité indiquée par le constructeur ne doit pas être confondue avec l'élasticité dynamique, c'est elle qui est représentative de ce qui se passe à la lecture. En principe, celle-ci diminue avec la fré-

quence. Dans les très basses fréquences où la notion du couplage avec le bras intervient, le problème se complique. Schématiquement on peut dire que les cellules souples le sont dynamiquement moins, les raides sont dynamiquement plus souples, quant aux moyennes, elles voient leur valeur conservée.

Une cellule souple annoncée pour $50 \cdot 10^{-6}$ cm/dyne ne fait dynamiquement plus que $40 \cdot 10^{-6}$ cm/dyne. Une de 25 à $30 \cdot 10^{-6}$ cm/dyne ne varie pratiquement pas. Enfin, une cellule raide de $10 \cdot 10^{-6}$ cm/dyne passe à $15 \cdot 10^{-6}$ cm/dyne en régime dynamique. La gamme de l'élasticité effective est donc plus restreinte, limitant d'autant la gamme de fréquence.

Avec ces quelques données vous pouvez calculer approximativement la fréquence de résonance de votre système bras-cellule. S'il vous manque la masse effective, il existe une méthode approchée : pesez votre coquille avec la cellule et multipliez par 1,3. Muni de ce facteur, reportez vous à la figure 2.

b - Les effets

On pourrait croire que se situant dans le domaine infrasonore, la résonance ne pose aucun problème, et que plus elle se situe bas, meilleur est le résultat. Car effectivement un système bras-cellule n'entre en oscillation que lorsqu'il est excité sur sa fréquence de résonance et qu'à ces fréquences très basses, il n'y a plus l'ombre de signaux musicaux.

Malheureusement, les choses ne sont pas aussi simples, car il faut compter avec les vibrations parasites de la platine, les rayures, les chocs mécaniques, les excentrages et surtout les voilures de disques. Ces phénomènes, eux aussi vibratoires, apparaissent dans la zone de fréquence critique et excitent donc le

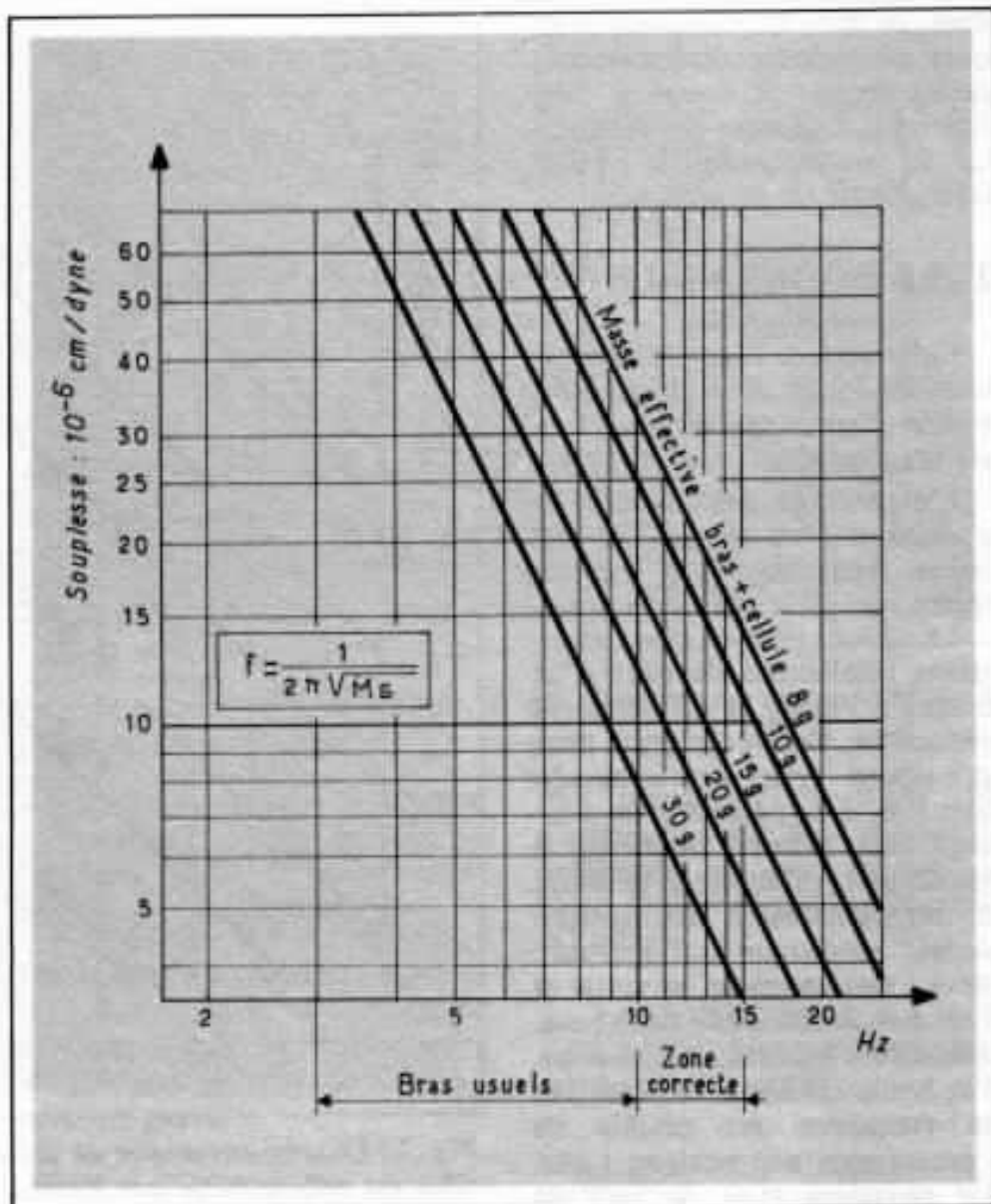


Fig. 2 : Détermination de la fréquence de résonance en fonction de la souplesse de l'équipage mobile de la cellule et de la masse effective de l'ensemble bras-cellule.

système bras-cellule qui oscillera sur sa fréquence de résonance pouvant entraîner tous les phénomènes suivants (cf l'Audio-ophile n° 5 p. 26) :

- forte variation de la force d'appui alors que la compensation d'antiskating reste fixe perturbant d'autant la lisibilité ;
- décentrage de l'équipage mobile de la cellule pouvant s'accompagner d'un fonctionnement non linéaire ;
- pertes de contact partielles pointe-sillon provoquant une usure prématurée du disque et de la pointe ;
- distorsion par modulation de phase et de fréquence ;

- saturation possible du préamplificateur ou de l'amplificateur ;

- non linéarité du fonctionnement des haut-parleurs de grave pouvant aller jusqu'au talonnement.

La liste est en réalité bien plus longue. Des perturbations plus subtiles telles que : impression de flou, mauvaise homogénéité de l'image sonore, ..., peuvent apparaître sans qu'il soit aisé d'en attribuer la cause au bras de lecture.

Un filtre passe haut vers 20 Hz placé dans le préamplificateur peut permettre d'éliminer quelques ennuis majeurs. Cepen-

dant, la mise en résonance marquée du système détériore irrémédiablement le signal et cette fois dans la gamme des fréquences du spectre audio, la restitution globale en est entâchée.

2 - LE DISQUE VOILE

Considéré à l'échelle microscopique du sillon, le disque idéalement plan et parfaitement centré n'existe pas.

L'excentrage des disques est un défaut bien réparti, de très basse fréquence (1/2 Hz) et même réparable par l'utilisateur.

La voilure est bien plus dangereuse, totalement aléatoire d'un disque à l'autre et difficilement réductible. On en distingue deux principaux types qui apparaissent lors des opérations de pressage. Dans le but d'augmenter le rendement, on diminue le temps de refroidissement des presses. Ainsi, le disque mal refroidi, stocké verticalement, se cintre et finit par durcir dans cette position. C'est le défaut de stockage. Par bonheur il est bien réparti et sa fréquence est double de l'excentrage, soit environ 1 Hz. Le deuxième type, le pire de tous, sans compter qu'il se combine avec les autres, apparaît surtout sur les presses à démoulage manuel. Le défaut souvent de forte amplitude et de fréquence bien plus haute mais variable d'un disque à l'autre, est localisé à l'endroit où on l'a saisi pour le sortir de la presse. En principe, les usines de pressage rejettent les disques dont la voilure crête à crête dépasse 1,5 mm (soit 0,75 mm ou 750 microns d'amplitude). Mais, comme les contrôles se font par prélèvements ponctuels... Comme on ne considère que l'amplitude de l'ondulation et non la fréquence...

La figure 3 représente la courbe enveloppe des voilures maximales relevées directement sur plusieurs dizaines de disques,

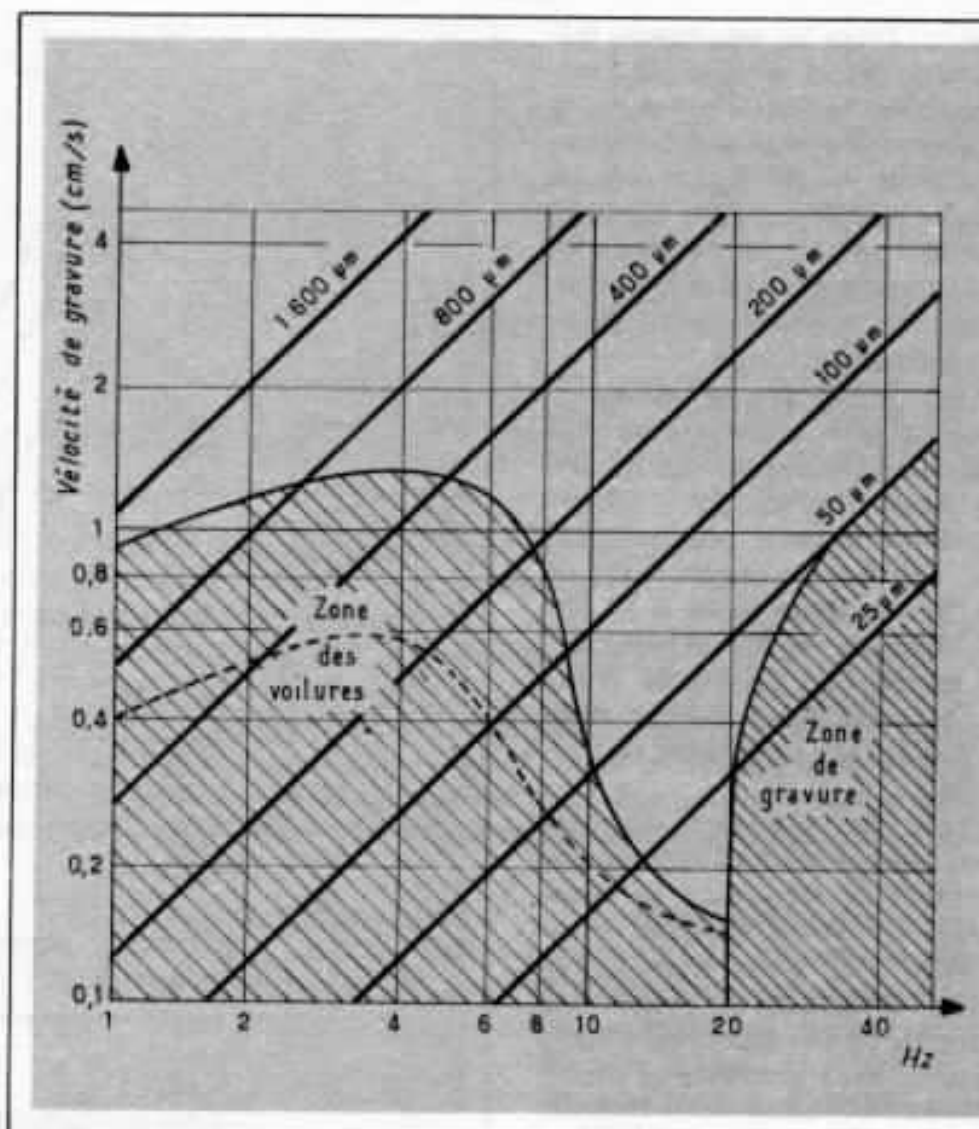


Fig. 3 : Courbe enveloppe de voilures des disques. La courbe en pointillés est celle publiée par Karlov il y a quelques années.

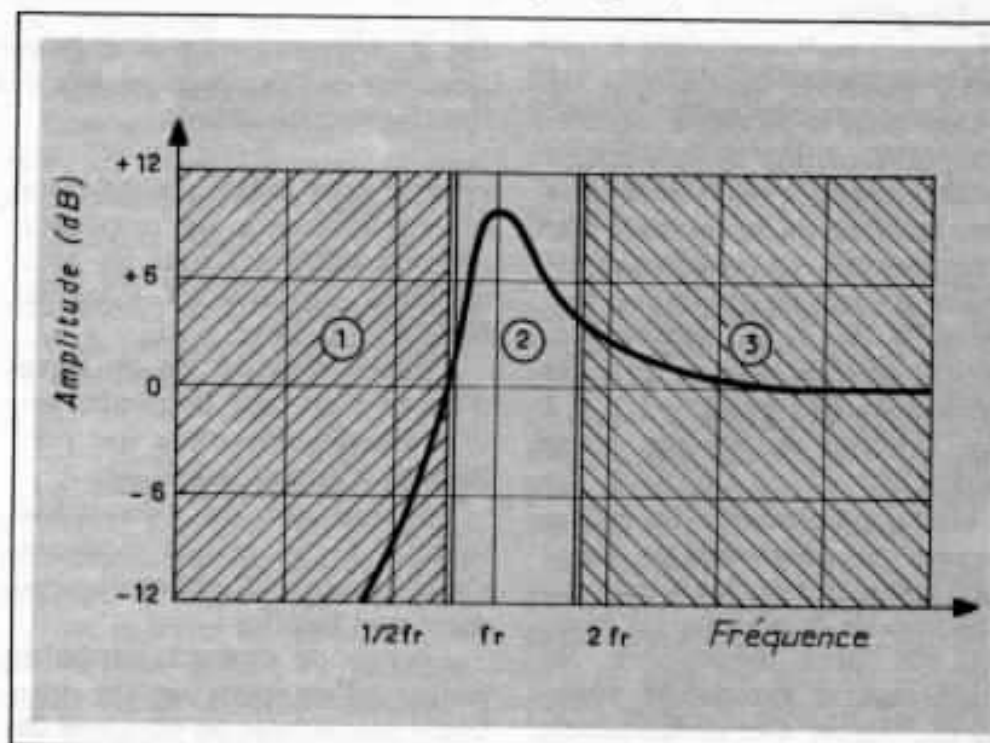


Fig. 4 : Réponse amplitude fréquence typique d'un phonolecteur.

en amplitude et en vitesse de gravure en fonction de la fréquence. On constate immédiatement que beaucoup de bras résonnent malencontreusement en plein milieu de la zone des fréquences affectées. La courbe en pointillés, publiée par M.F.J. Karlow (Shure) il y a quelques années, était comme on le voit particulièrement optimiste. L'amplitude maximale de 750 microns tolérée en principe à la fabrication, n'est pas représentée. Aussi faut-il dire que dans la pratique les défauts de voilure sont près de trois fois plus graves qu'admis jusqu'ici. Alors que faire ?

3 - LE COMPORTEMENT DE L'ENSEMBLE BRAS CELLULE

a - Le choix de la fréquence de résonance

La figure 4 est une courbe de réponse amplitude/fréquence typique d'un ensemble bras cellule.

- Dans la zone 1 la réponse tend vers zéro. L'équipage mobile ne se déplace plus indépendamment du bras mais avec lui, ils suivent ensemble l'excentrage et la voilure du disque.

- Dans la partie 2, c'est la zone de résonance, l'amplitude de celle-ci peut atteindre plus de 10 dB lorsque le système est stimulé sur la fréquence f_r . L'ensemble oscille indépendamment du disque, la cellule est écrasée puis relâchée successivement s'accompagnant de fortes variations de la force d'appui et la lecture est inévitablement affectée de fortes distorsions (cf l'Audio-philie n° 5 p. 26).

- La zone 3 représente la plage de lecture proprement dite.

En se reportant à la figure 3 on voit que la zone optimale pour la fréquence de résonance du système bras-cellule se situe entre 10 et 15 Hz. C'est la zone où

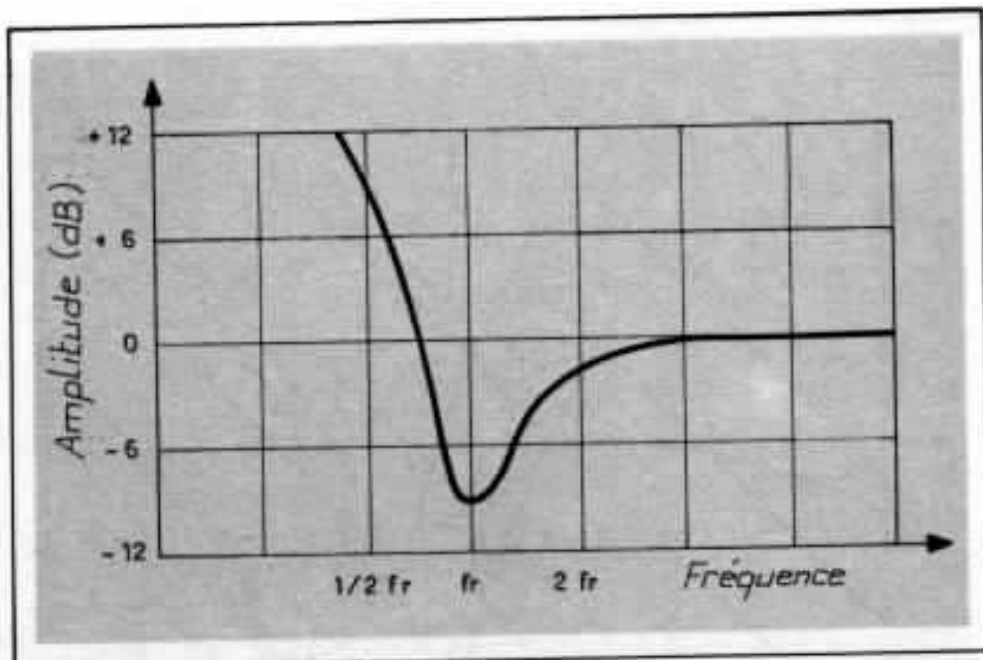


Fig. 5 : Aptitude à la lecture. C'est l'inverse de la réponse de la figure 4.

celui-ci a le moins de chance d'être excité. C'est de loin la meilleure façon de s'affranchir des défauts de planéité.

Par ailleurs 15 Hz semblent être la limite supérieure pour éviter tout risque d'accrochage acoustique avec les haut-parleurs et ne pas gonfler le registre extrême grave.

b - Quelques remarques

- En considérant l'échelle des souplesses et des masses des cellules existantes, il semble bien difficile de concevoir un bras universel. Seul un bras de faible masse effective et de plus réglable, peut permettre d'obtenir un résultat optimal.

- La recherche d'une faible masse effective, sans nuire à la rigidité du bras pour autant, conduit quasiment à l'abandon de la coquille amovible, compte tenu de la répartition des masses. A titre d'exemple les vis métalliques fixant la cellule sont, sur le plan inertiel, du même ordre de grandeur que le contre-poids principal arrière. Des vis nylon peuvent être utilisées pour diminuer la masse effective.

- De même le choix du maté-

riau constitutif du tube doit s'orienter vers des matériaux présentant un bon compromis entre densité et rigidité (module d'Young)

4 - L'APTITUDE A LA LECTURE DU SYSTEME BRAS-CELLULE

Celle-ci est donnée par l'inverse de la réponse amplitude/fréquence de la figure 4. Elle est visualisée par la courbe de la figure 5. En reportant cette courbe sur la figure 3 on obtient la figure 6. Un échantillonnage de divers systèmes y a été représenté.

Le cas A correspond à un bras bien connu équipé d'une cellule de souplesse moyenne. L'excitation de la résonance est très probable puisqu'il y a contact avec la zone de voilure.

En faisant varier la souplesse, en la multipliant ou en la divisant par deux, on obtient successivement les cas B et C.

En doublant la masse par rapport au cas A on passe en D, c'est de loin la situation la plus critique. Par contre, en la réduisant de moitié on a le cas E qui est en tout point excellent. Les

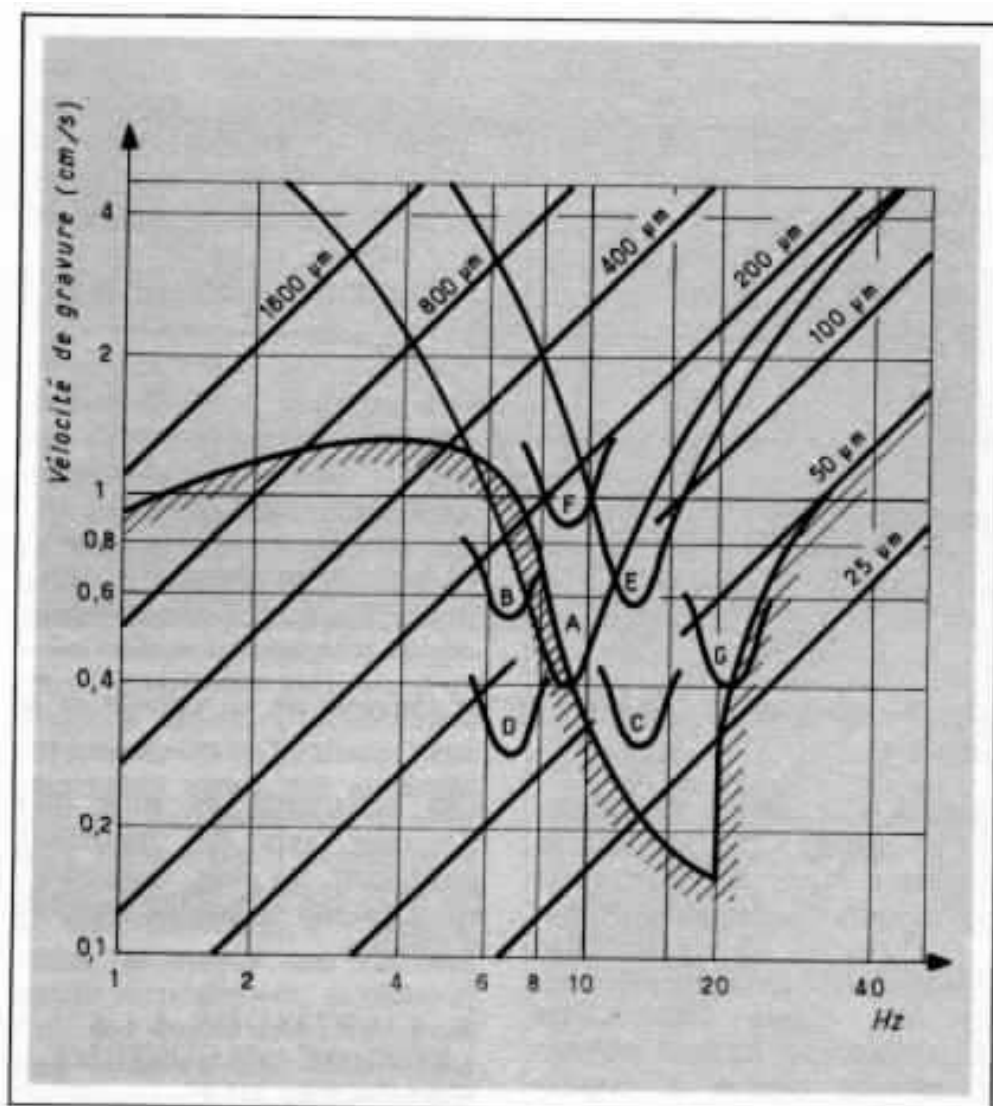


Fig. 6 : Variations de la fréquence de résonance en fonction de la masse effective et de la souplesse.

risques d'excitation sont dans ce cas extrêmement faibles.

Une modification à partir de ce cas de la souplesse, toujours d'un facteur deux, n'améliore rien : cas F et G. Car on se rapproche des zones critiques.

En schématisant il semble donc que sur cet aspect, le meilleur des résultats est obtenu avec un bras de faible masse effective associé à une cellule relativement souple, cas E.

5 - LA REPARTITION DES MASSES

Nous abordons là une notion théorique à la base de la conception du bras de lecture. Tout d'abord sur le plan géométrique, il y a un axe très important qui

est en fait l'axe de référence. Il s'agit de l'axe pivot-pointe. Dans le cas du bras de lecture tout se passe autour de cet axe comme nous allons le voir

a - Deux points théoriques

La mécanique des solides montre, que pour caractériser un corps solide du point de vue dynamique, il suffit de connaître son centre de gravité et son ellipsoïde d'inertie. Ces notions méritent quelques explications.

- Pour le centre de gravité, la détermination dépend du modèle que l'on se fixe au départ

Si l'on assimile le système à un ensemble de masses ponctuelles m_1, m_2, \dots, m_n situées en M_1, M_2, \dots, M_n , système discontinu, la

position du centre de gravité par rapport à une origine O est donnée par

$$\overline{OG} = \frac{\sum_i m_i \overline{OM_i}}{\sum_i m_i}$$

Par contre dans le cas d'un système continu ou réparti suivant un volume, cas de la masse du tube d'un bras qu'il est difficile d'assimiler à une masse ponctuelle, le centre de gravité est donné par

$$\overline{OG} = \frac{\int_V \overline{OM} du}{\int_V du}$$

du tient compte de la densité de masse.

Ceci donne une idée de l'influence de la répartition des masses. Pour approfondir la question il faudrait faire appel à la notion de quantité quadratique.

- L'ellipsoïde d'inertie est une surface, une enveloppe définie par le lieu des points P vérifiant l'équation $|\overline{OP}|^2 I_O = 1$ (où I_O représente le tenseur d'inertie au point O, origine du trièdre de référence, caractérisant l'inertie dans les trois dimensions).

Si l'on choisit comme origine le centre de gravité, on obtient l'ellipsoïde central d'inertie jouissant de propriétés mécaniques tout à fait exceptionnelles. Si dans le cas d'un bras de lecture, cas d'un solide à point fixe unique, on réussit à confondre l'axe pivot-pointe avec un des axes de l'ellipsoïde central d'inertie alors il se trouvera dans des conditions dynamiques uniques : moment et énergie cinétiques, rotations autour des axes d'inertie stables, moment de la force de liaison au pivot (G) nul...

b - L'application au bras de lecture

Bien entendu compte tenu de la forme imposée au bras il est

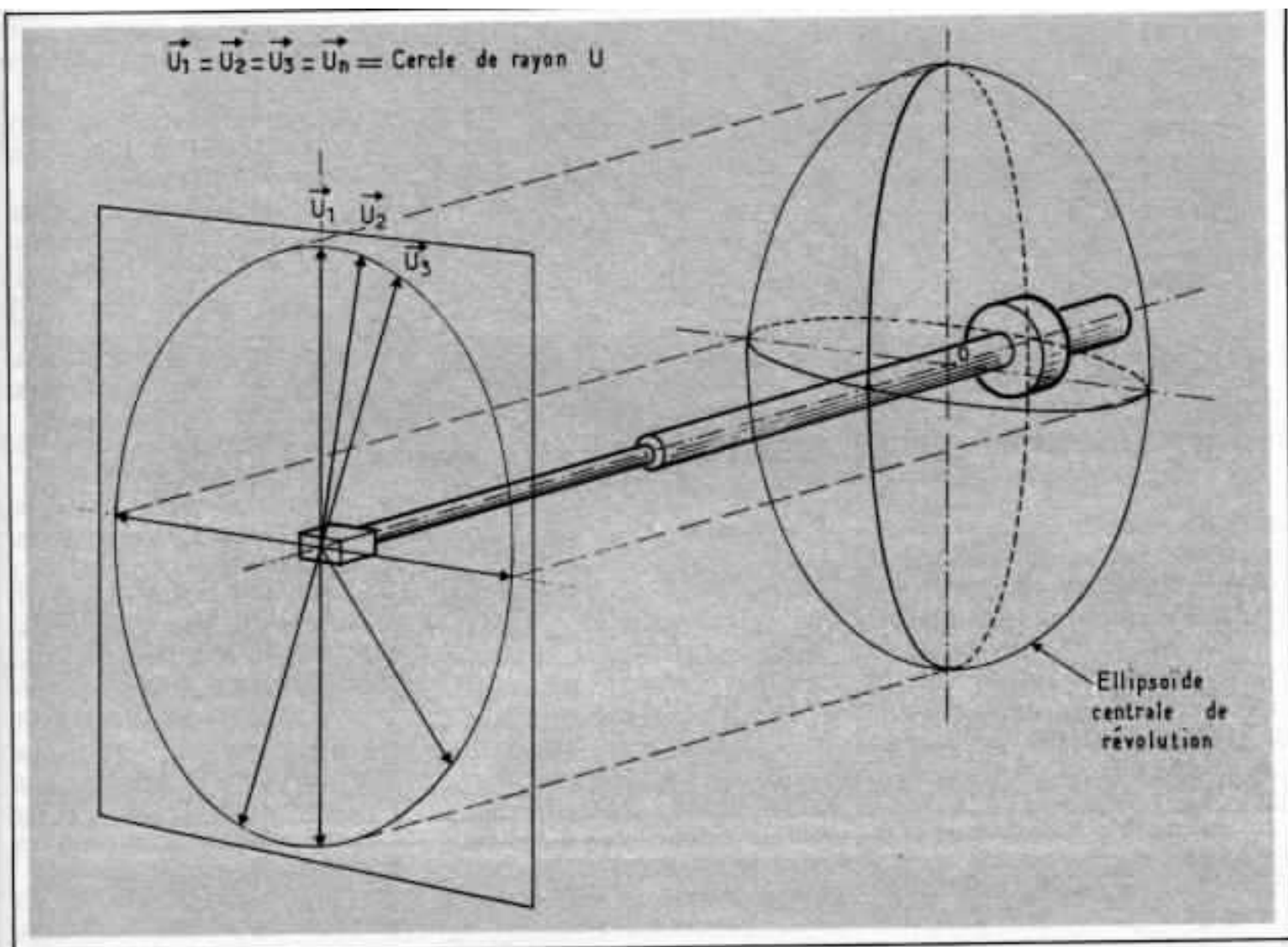


Fig. 7 : Représentation de l'ellipsoïde centrale de révolution. La projection dans le plan de la pointe de lecture montre l'égalité des contraintes dynamiques appliquées à la pointe.

impossible de satisfaire parfaitement les conditions théoriques. Cependant avec minutie on parvient à s'en approcher d'assez près, et de rendre l'erreur tout à fait négligeable en pratique.

C'est ce à quoi est parvenu Pierre Lurné dans la réalisation de son bras pour lequel pratiquement il est possible de confondre

- L'axe pivot/pointe avec le petit axe de l'ellipsoïde ;
- l'axe latéral passant par le pivot avec l'axe moyen ;
- l'axe vertical passant par le pivot avec le grand axe.

De plus l'ellipsoïde est de révolution par rapport au petit axe ce qui signifie que la projection de l'ellipsoïde, sur un plan vertical à la pointe et perpendi-

culaire à l'axe pivot pointe, est un cercle (fig 7)

Lorsque l'on sait que ce cercle est l'image de la distribution des efforts dynamiques imposés à la pointe et au disque par l'ensemble bras/cellule, on comprend toute l'importance de l'obtention d'un tel équilibrage des contraintes de tous ordres au niveau de la pointe.

Une distribution des masses dangereuse comme sur certains bras impose à la pointe des efforts dynamiques non équilibrés, inégaux. L'image de la projection n'est plus un cercle mais une ellipse plus ou moins allongée décentrée par rapport à la pointe, et pire encore, souvent penchée détruisant même la symétrie droite/gauche (fig 8)

6 POSITION DU CENTRE DE GRAVITE

Le bon équilibre d'un bras est une condition première de sa qualité. Cet équilibre est en grande partie déterminé par la position du centre de gravité dans l'espace. Cette notion semble d'ailleurs fort peu connue.

Naturellement le centre de gravité doit se trouver en avant de l'axe du pivot si l'on désire qu'une force soit appliquée au niveau de la pointe.

A titre d'exemple pour un système de 230 g, avec une force d'appui de 2 g et une distance pivot pointe de 230 mm, la distance pivot centre de gravité sera

$$d = \frac{230 \times 2}{230} = 2 \text{ mm}$$

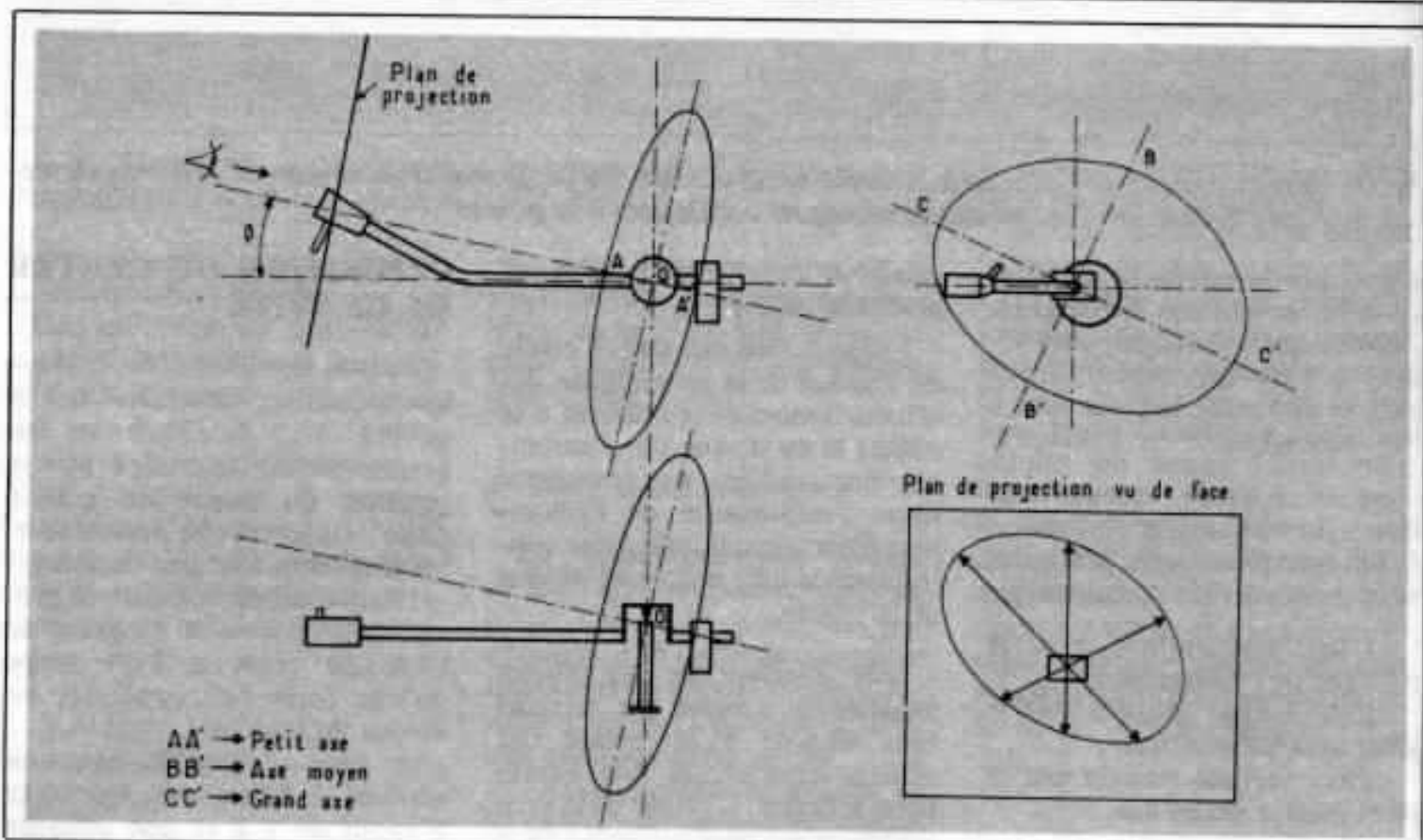
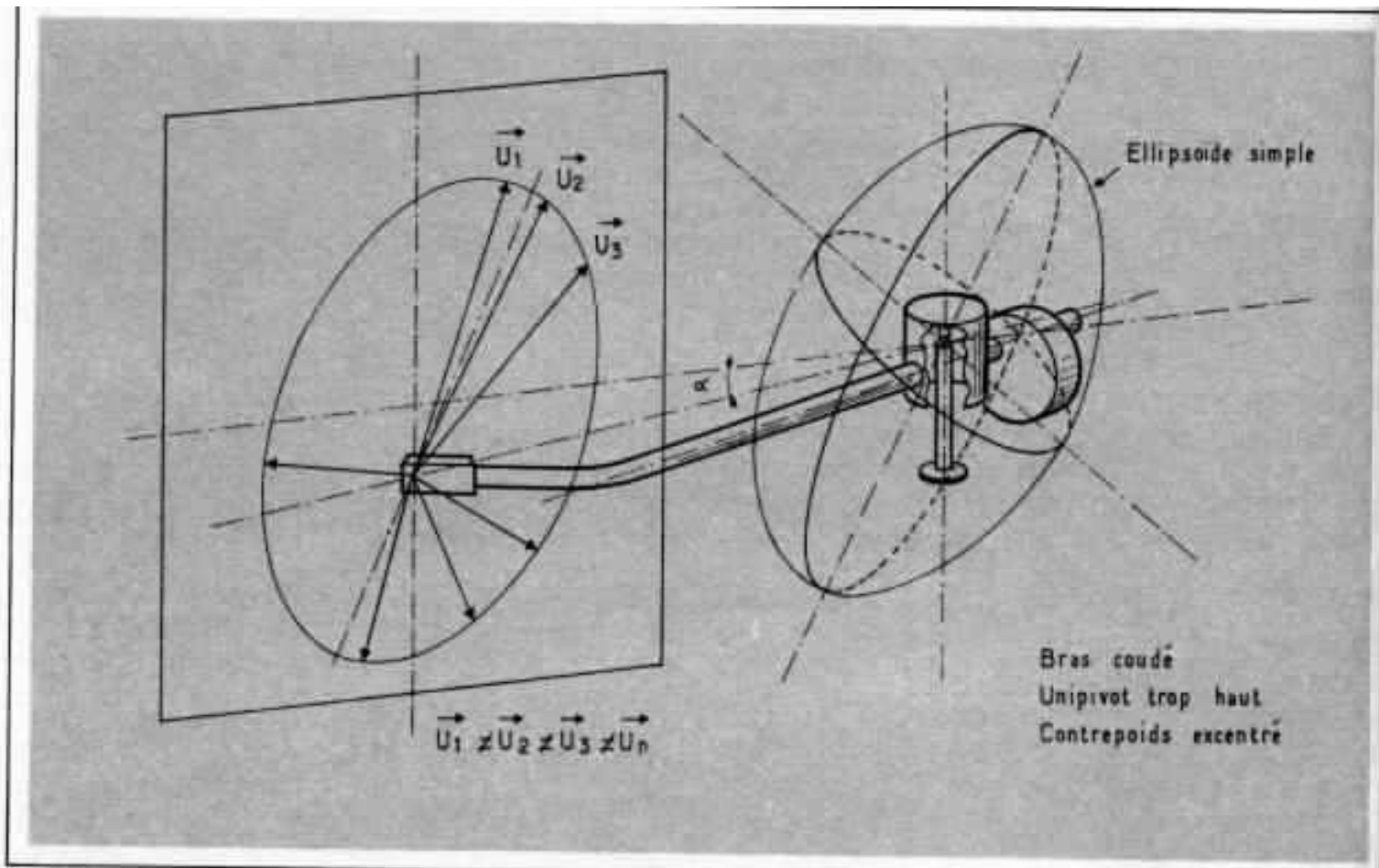


Fig. 8 : Représentation de l'ellipsoïde d'inertie pour un bras coudé, dont l'unipivot est trop haut et le contrepoids excentré. Nous avons représenté en dessous les divers plan de projection pour mieux expliciter la construction de l'ellipsoïde. On remarquera que la projection dans le plan de la pointe de lecture n'est pas un cercle, les contraintes ne sont pas uniformes.

en appliquant le théorème des moments (fig 9)

Bien sûr, ce point semble contredire ce qui a été dit précédemment sur l'ellipsoïde d'inertie où le centre de gravité était confondu avec l'axe du pivot. Mais la valeur de 2 mm comparée au 230 mm du bras n'apporte qu'une modification insignifiante sur le plan de l'inertie qui est directement liée au carré du rayon ($I = \sum mr^2$).

D'autre part le centre de gravité peut être positionné soit sur l'axe pivot pointé, soit n'importe où dans l'espace avant, dans ce cas l'accélération de la pesanteur g ne s'applique plus en totalité (fig 10) sur le système. Le comportement dynamique dans le plan vertical est donc plus «lent», ce qui peut fortement diminuer la capacité de lecture sur disque voilé et provoquer des déraillements de la pointe sans que la résonance de l'ensemble y soit pour quelque chose.

Cette méthode est employée sur certains unipivots car elle offre l'avantage d'améliorer la stabilité latérale qui peut être critique sur ce type de réalisation.

Cependant du fait de la plus faible composante de g appliquée au bras, celui-ci peut prendre un comportement de pendule ne demandant qu'à osciller provoquant ainsi du pleurage par modulation de fréquence.

7 - L'AMORTISSEMENT

Naturellement il joue un rôle prépondérant. Lorsque le système rentre en résonance il ne reprend sa position d'équilibre qu'après un certain nombre d'oscillations uniformément amorties (fig 11), la courbe enveloppe est exponentielle. Le temps de recouvrement qui n'est autre que du traînage sera d'autant plus long que le système est peu amorti.

Le lecteur est très certainement conscient de la grande

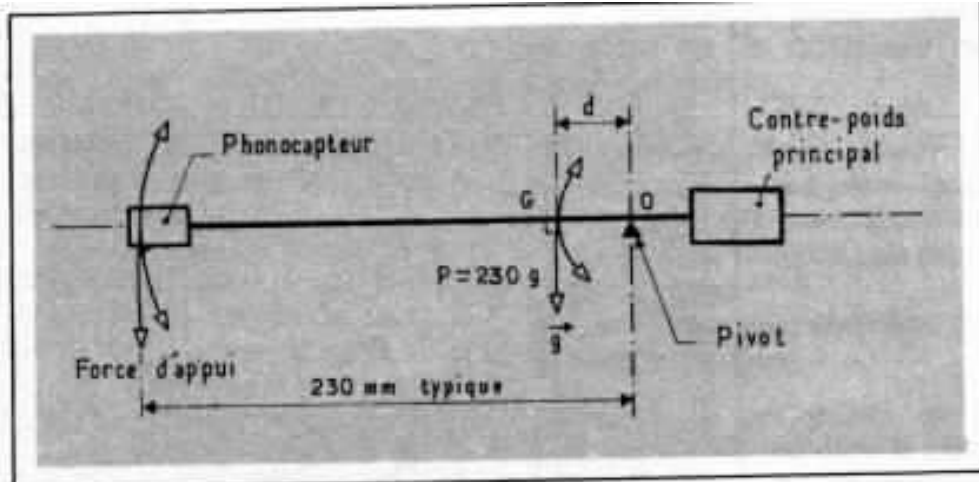


Fig. 9 : La position du centre de gravité pour un système de 230 g et une force d'appui de 2 g, est donnée par $d = 2$ mm.

importance, en haute fidélité, des régimes transitoires sur la qualité des timbres, de la dynamique... Aussi un bras bien amorti donne-t-il un son propre, clair et bien détaillé ; les petits signaux ne sont plus masqués par des oscillations parasites.

L'amortissement optimal et l'amortissement critique correspondent à des facteurs d'amortissements de 0,7 et 1. Une valeur trop faible s'accompagnera d'oscillations résiduelles provoquant un traînage. Une valeur trop élevée limitera le comportement en régime transitoire.

Il est possible de concevoir un pseudo amortissement par découplage mécanique, à l'aide d'un joint élastique, du contre-poids principal. Cependant

celui-ci risque d'entrer en résonance en opposition de phase avec le bras lui-même, provoquant alors des accidents dans la réponse entre 15 et 50 Hz.

La meilleure solution désormais adoptée par plusieurs constructeurs, consiste sans aucun doute en un amortissement visqueux, à l'aide d'un fluide dont on peut choisir la viscosité.

De plus comme on l'a vu précédemment au sujet de l'ellipsoïde d'inertie, les contraintes doivent être distribuées de manière aussi uniforme que possible autour de la pointe. Il importe donc pour conserver cet acquis, lorsque la répartition des masses a été judicieusement étudiée, de prévoir un amortissement tant horizontal que vertical

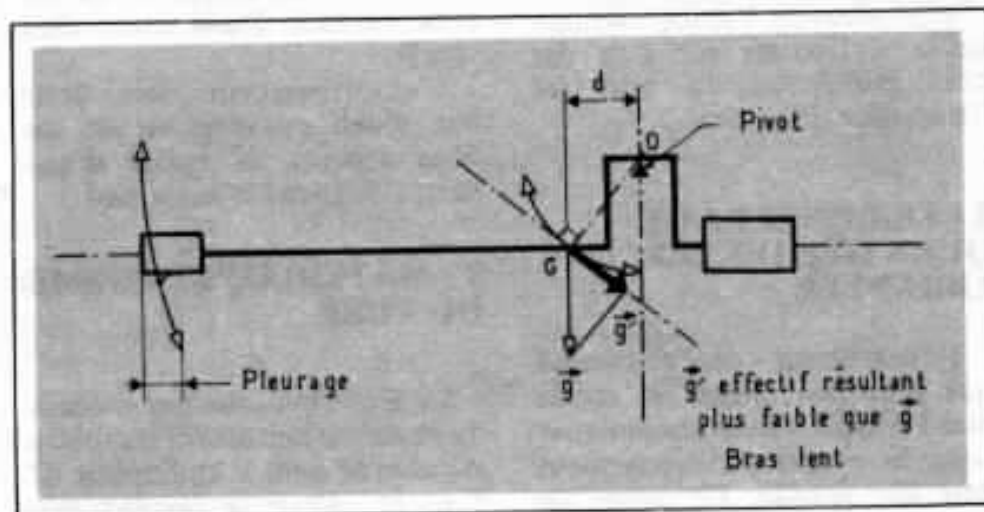


Fig. 10 : Problème posé par un décalage vertical du pivot. La composante g' de l'accélération de la pesanteur inférieure à g lui confère un moins bon comportement dynamique.

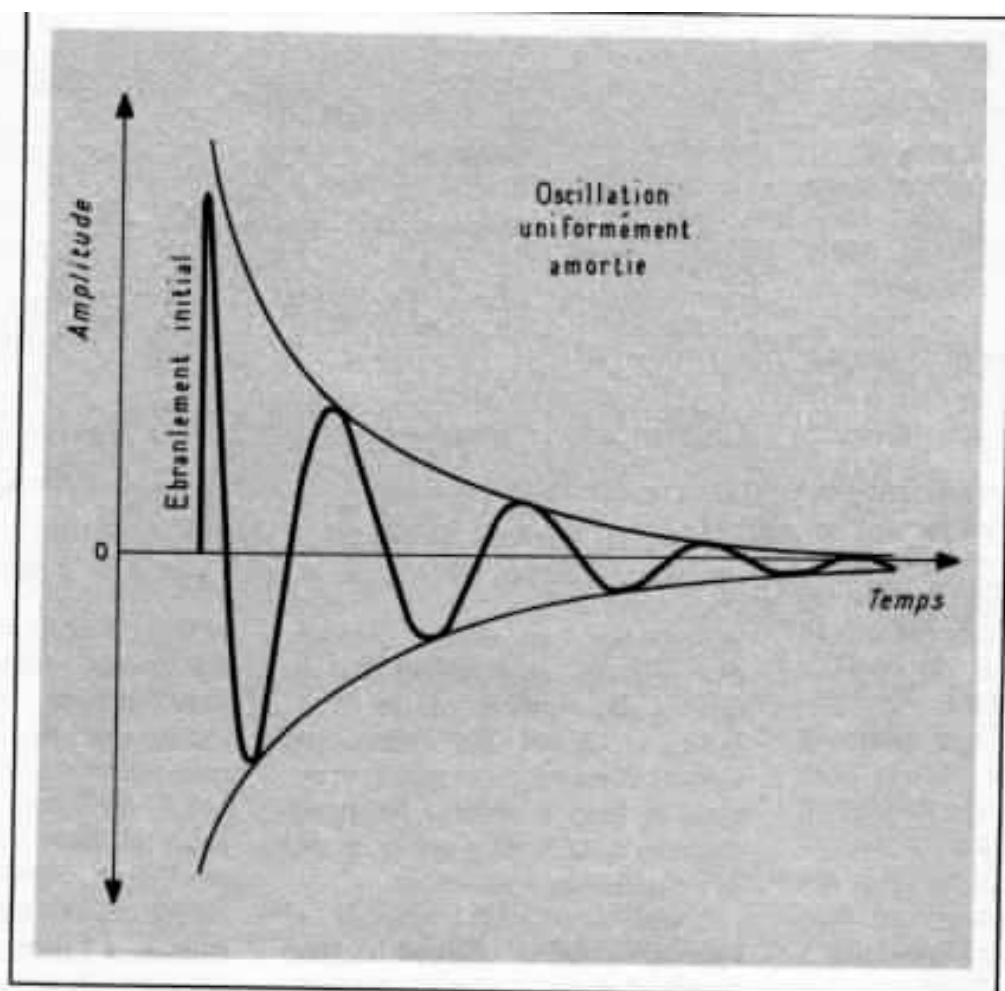


Fig. 11 : Représentation de l'oscillation prise par un système uniformément amorti soumis à un ébranlement.

avec une réserve toutefois quant à l'amortissement vertical qui gagne à être légèrement plus important du fait que les perturbations verticales (voilures) présentent une amplitude plus élevée que les perturbations horizontales (excentrages).

Bien entendu l'amortissement devra s'effectuer sur l'un des axes principaux du bras (cf l'ellipsoïde d'inertie).

8 - LE CONCEPT DE QUANTITE D'ENERGIE EBRANLEE

Intuitivement on comprend que plus une masse est élevée plus l'énergie à lui communiquer pour la mettre en mouvement doit être grande. De même un système très souple réagit à des sollicitations plus faibles qu'un système plus rigide

Aussi un ensemble composé d'un bras lourd associé à une cellule raide se caractérise par une quantité d'énergie ébranlée plus élevée qu'un système inverse. Cela n'aurait pas grande importance si ce n'était le sillon qui «fournit» cette énergie et qui est donc menacé d'une usure plus rapide.

L'amortissement doit donc être établi en fonction de ces deux aspects, la masse d'une part, l'élasticité d'autre part.

9 - MATERIAU ET FORME DU TUBE

Le problème posé par le choix du matériau constitutif du tube a été abordé dans l'Audiophile n° 5 p. 31. Aussi ne reviendrons-nous pas en détail sur cette notion. Disons cependant qu'elle correspond à des exigences con-

tradictoires : rigidité maximale et masse minimale.

La rigidité est donnée par le module de Young ou module d'élasticité longitudinal E : $E = \sigma/e$ où $\sigma = F/s$ contrainte appliquée, $e = \Delta l/l$ allongement relatif.

Cependant, il convient de ne pas exagérer l'importance du matériau du tube, dont l'influence est bien moindre que celle de la fréquence de résonance ou de la répartition des masses (laquelle ayant en outre des effets secondaires heureux sur les résonances du tube).

Autre aspect dont on parle peut-être moins, la forme du tube. Tout d'abord la section circulaire sur le plan de la résistance des matériaux est celle qui offre le plus d'avantage principalement au niveau de la flexion et de la torsion. Les moments de flexion et de torsion augmentent en rai-

son inverse de la distance au pivot, ce qui conduit pour une efficacité optimale à adopter un tube dont l'épaisseur croît au fur et à mesure qu'on se rapproche du pivot. Une telle configuration aide à éviter l'établissement de mode de vibration au sein même du tube.

Signalons également que l'on gagne à surbaisser le tube. Effectivement plus le bras de levier formé par la distance pointe-axe du tube est faible et plus le couple de torsion appliqué à celui-ci est limité.

10 - CONCLUSION

De cette étude nous pouvons dégager le «cahier des charges» qui a guidé la réalisation de

Pierre Lurné.

a - masse effective :

- 1^o très faible : 3 à 4 g apparaît comme une limite au-dessous de laquelle la rigidité du bras est compromise.

- 2^o ajustable : en fonction de la masse et de la souplesse de la cellule de façon à avoir une résonance entre 10 et 15 Hz pour une réponse maximale aux disques voilés.

b - axe pivot/pointe au plus près du petit axe de l'ellipsoïde d'inertie : égalité, dans toutes les directions des efforts imposés au disque et à la pointe de lecture.

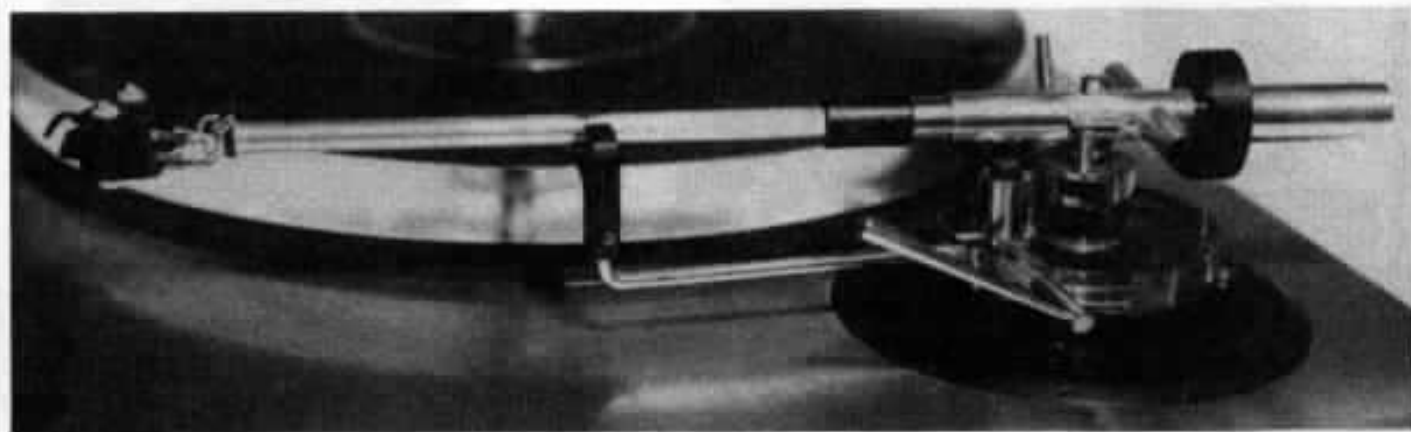
c - centre de gravité sur l'axe pivot/pointe : rapidité de réponse dynamique.

d - équilibrage latéral : compensation de la différence de masse des cellules

e - amortissement fluide : action dans les deux plans, proportionnelle aux contraintes et positionné sur l'un des axes principaux du bras.

Pas de découplage élastique du contrepois arrière.

Chacun de ces points est à notre avis essentiels dans la conception d'un bras de lecture. Encore faut-il lors de la réalisation regrouper tous ces paramètres. Chacun de ces aspects séparés du contexte de système n'a plus aucune signification. Un seul point mal résolu suffit à ruiner l'ensemble des performances.



Document Woodless-Lurné

**Page non
disponible**

Filtres et enceintes acoustiques

Techniques d'élaboration des filtres

Gilles Milot

Selon Gilles Milot, une restitution de haute qualité doit conserver aux signaux leurs caractéristiques d'amplitude et de phase. Cela a fait l'objet d'un article dans le précédent numéro de l'Audiophile. Ainsi dans une enceinte acoustique à plusieurs voies, la combinaison des différents haut-parleurs alimentés par l'intermédiaire d'un filtre doit aboutir à la création d'un système se comportant quasiment comme un transformateur parfait d'énergie électrique en énergie acoustique.

L'article qui suit est donc consacré aux critères d'élaboration d'un filtre satisfaisant à ces conditions.

• Conditions à remplir par un système de filtrage.

Si en première approximation le haut-parleur est considéré comme un transformateur parfait, on doit créer des filtres électriques sélecteurs de fréquences tels que le signal obtenu en réalisant la somme électrique de leurs différentes sorties soit égal au signal commun envoyé à chacune de leurs en-

trées. En pratique, la somme est réalisée automatiquement par l'addition des signaux émis par chaque haut-parleur (cf fig. 1)

Cette recombinaison parfaite en amplitude et en phase du signal, au niveau du système filtre haut-parleur, est indispensable pour que l'enceinte ne déforme pas le message sonore, et est donc étroitement liée aux caractéristiques amplitude / fréquence et

phase / fréquence des filtres utilisés (cf. chapitre précédent).

On définit les caractéristiques générales des filtres par un certain nombre de critères qui permettent de les classer par catégorie. Les critères peuvent être rattachés à l'allure de la réponse amplitude/fréquence du filtre. Ainsi un filtre peut être défini par sa ou ses fréquences de coupures (fréquences charnières à partir desquelles

la réponse amplitude/fréquence du filtre change) et par des pentes de coupures qui déterminent la raideur de l'atténuation de la réponse en amplitude du filtre (pente à 6 dB/octave, 12 dB/octave, etc...). On détermine également la complexité d'un filtre, soit son nombre de fréquences de coupures et la raideur de ses atténuations par le terme : ordre (filtre d'ordre 1, 2, 3 etc...). La rapidité avec laquelle varie la réponse amplitude/fréquence du filtre est également fonction de ce qu'on appelle le Q du filtre ou sa surtension. Enfin, on parle généralement de filtres passe-bas, qui atténuent les hautes fréquences, de filtre passe-haut qui atténuent les basses, de filtre passe-bande qui privilégient une zone de fréquences ou de coupe-bande qui atténuent une zone de fréquences, enfin des filtres complexes qui sont une combinaison des structures précédentes. La réponse phase/fréquence des filtres est liée d'une manière bi-univoque à la réponse amplitude/fréquence (sauf dans le cas des filtres passe-tout). (cf fig. 2).

Les différents critères sont définis avec toute la rigueur souhaitable par une présentation, non plus descriptive et à posteriori, mais mathématique et systématique, à partir des éléments fondamentaux actifs et passifs qui permettent de définir complètement tous systèmes électriques ou électroniques (cf chapitre précédent).

Les filtres utilisés dans les enceintes acoustiques sont du type passe-bas pour le boomer, passe-bande pour le médium et passe-haut par le tweeter.

La bonne recombinaison des signaux provenant de chaque haut-parleur, est liée aux caractéristiques des filtres qui les alimentent. On montre, par le calcul, que pour raccorder deux haut-parleurs alimentés chacun par un filtre, un boomer-médium (filtre passe-bas) et un tweeter (filtre passe-haut), de manière à obtenir

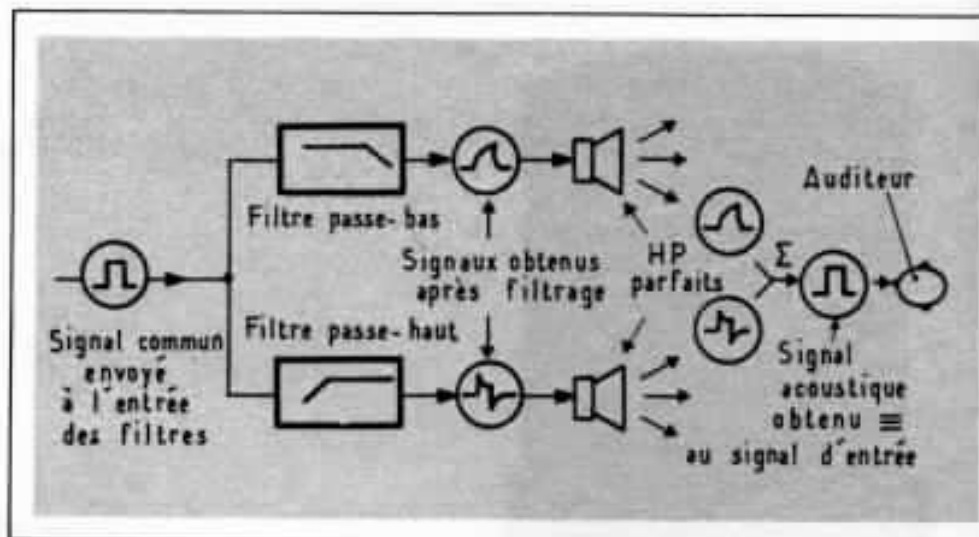


Fig. 1 Reconstitution du signal par sommation des voies.

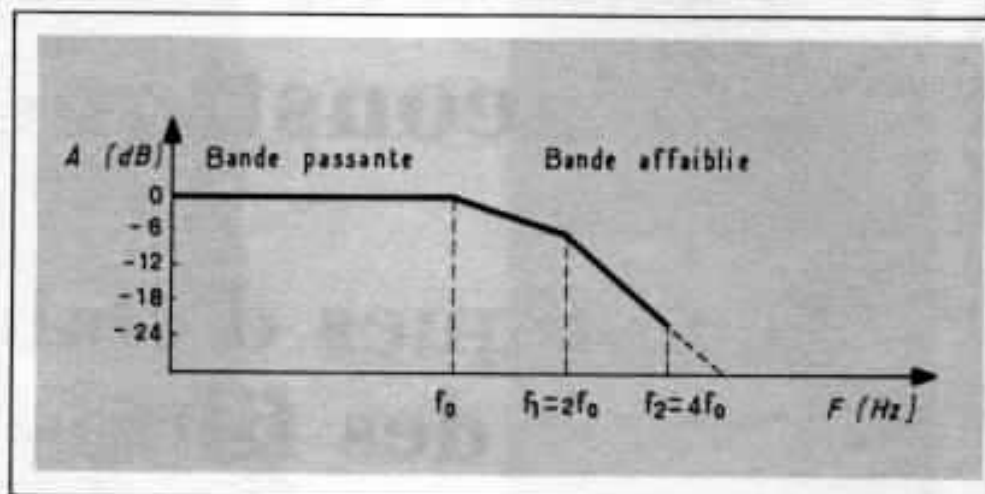


Fig. 2 Exemple d'un filtre passe-bas à 6 dB/octave, puis 18 dB/octave possédant deux fréquences de coupure : f_0 et f_1 .

une réponse globale qui ne déforme pas le signal, on est obligé d'utiliser des filtres passe-haut et passe-bas dont les fréquences de coupures sont identiques et dont les pentes d'atténuation sont faibles : 6 dB/octave, ce sont des filtres du premier ordre (cf fig. 3)

De même, pour les systèmes multivoies on doit utiliser des filtres qui commencent à chuter à 6 dB/octave, puis à 12 dB/octave ou plus, suivant le nombre de voies (cf fig. 4).

La technique d'analyse des filtres par les vecteurs de Fresnel permet d'obtenir une vision physique et synthétique de leur mode de fonctionnement. Cette technique permet, en effet, de globaliser la réponse en phase et en am-

plitude d'un système, avec plus de réalisme que l'analyse mathématique.

• Problèmes d'adaptation aux enceintes acoustiques

L'obligation de travailler avec des filtres à faible pente de coupure est très contraignante, car on minimise l'intérêt de l'affaiblissement du filtre, aussi bien du point de vue quantitatif, puis qu'on envoie au haut-parleur une quantité d'énergie non négligeable en bande affaiblie, que du point de vue qualitatif puisqu'on excite les irrégularités du haut-parleur en bande affaiblie (cf chapitre précédent).

L'élongation du haut-parleur étant inversement proportionnelle au carré de la fréquence pour obtenir une source sonore constante, on constate qu'une coupure à 12 dB/octave (filtre passe-haut du deuxième ordre), sur un haut-parleur dont la réponse est linéaire permet tout juste d'obtenir une élongation constante en bande affaiblie. On risque donc une destruction mécanique du haut-parleur, lorsqu'on le filtre à 6 dB/octave.

On peut compenser en partie ce défaut en confondant sur un système 3 voies les fréquences f_1 et f_2 (cf fig. 4). Ainsi dans ce cas limite le médium se comporte simplement en "bouche-trou" chutant à 6 dB/octave dans le grave et dans l'aigu. Le boomer et le tweeter peuvent alors être directement filtrés à 12 dB/octave. (cf fig. 5).

Ce système permet de faire fonctionner le médium sur une bande passante moins large, mais oblige à augmenter la bande passante du boomer et du tweeter risquant ainsi de les faire fonctionner dans leur zone d'irrégularités. On peut généraliser ce principe à des ordres de coupures plus élevés pour le boomer et le tweeter (18 dB/octave et 24 dB/octave), mais le médium nécessite toujours une coupure à 6 dB par octave et devra, dans ces cas, avoir une amplitude supérieure en bande passante à l'amplitude nominale.

Lorsqu'on veut obtenir une bonne réponse en phase et en amplitude d'une enceinte acoustique, on se heurte au problème de la "mise en phase" spatiale des haut-parleurs.

Pour que les signaux provenant de chaque haut-parleur s'additionnent correctement il faut que leurs lieux d'émission (centres acoustiques) soient situés, soit au même endroit (ce qui est physiquement difficile) soit à égale distance d'un ensemble de points privilégiés qui constitue le lieu d'écoute. Cette constatation est très contraignante puisqu'elle

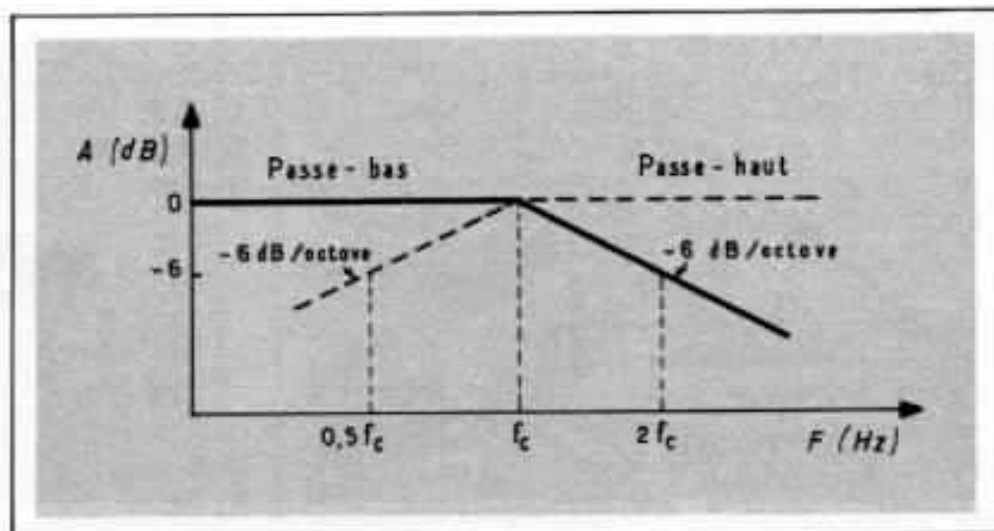


Fig. 3 Filtrage du 1^{er} ordre (6 dB/octave) pour un système à deux voies.

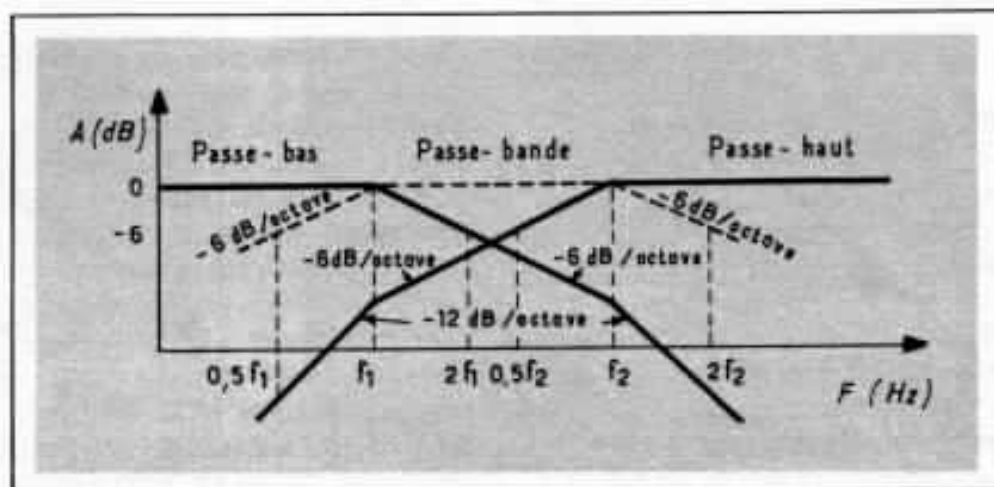


Fig. 4 Filtrage pour un système trois voies.

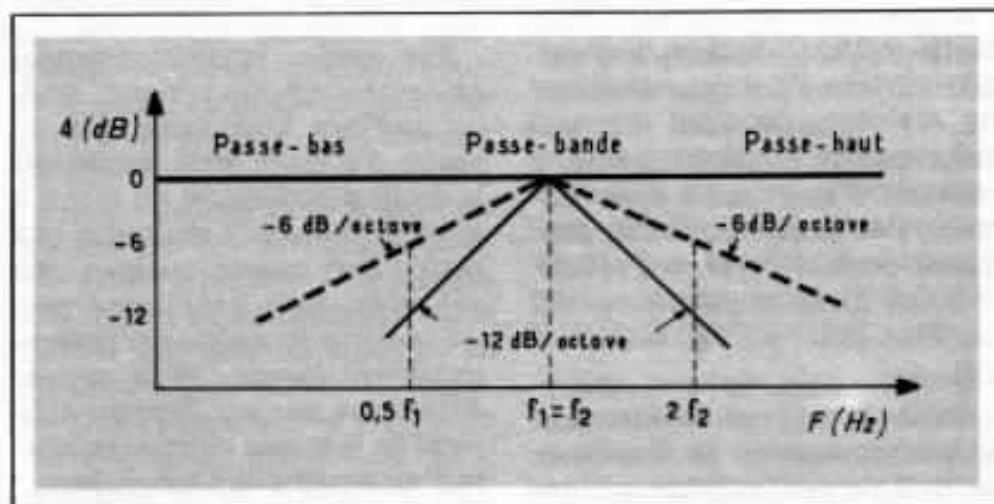


Fig. 5 Médium utilisé, en "bouche-trou" sa réponse est en pointillés.

oblige l'auditeur à être situé dans une position particulière par rapport aux enceintes.

Parlons de cette position privilégiée. Sur un système deux voies dont les haut-parleurs sont situés

l'un au-dessus de l'autre, la position en question est le plan médiateur déterminé par les centres acoustiques des deux haut-parleurs (cf fig. 6). Pour un système trois voies, cette position est

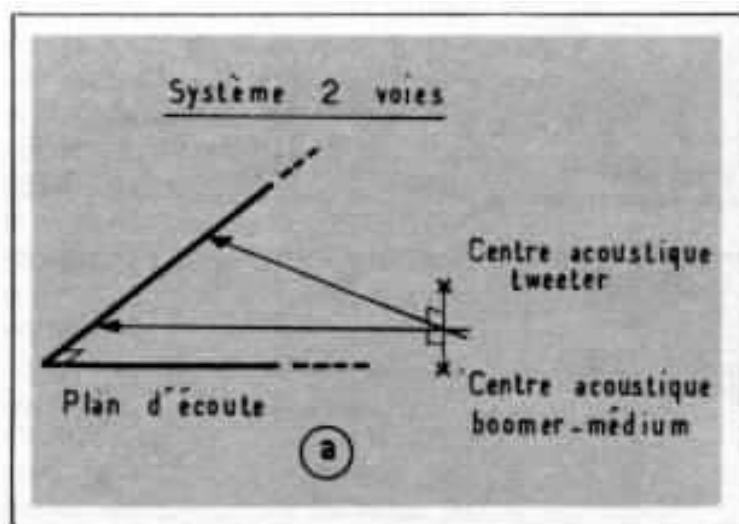


Fig. 6 Système 2 voies, écoute monophonique.

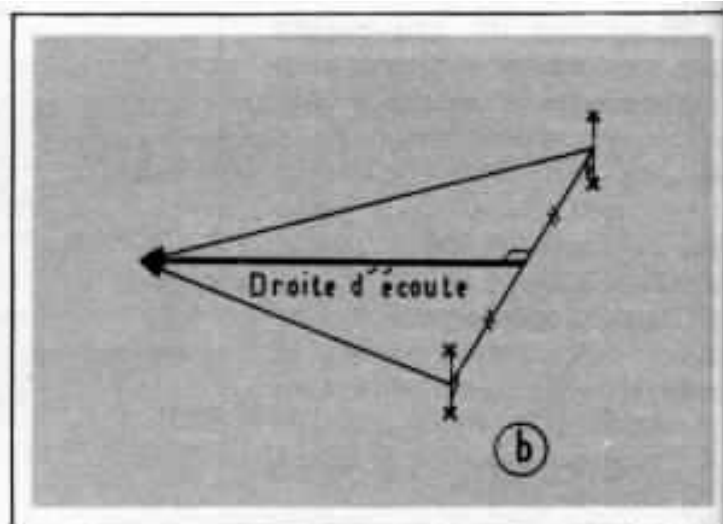


Fig. 6 bis Système 2 voies, écoute stéréophonique.

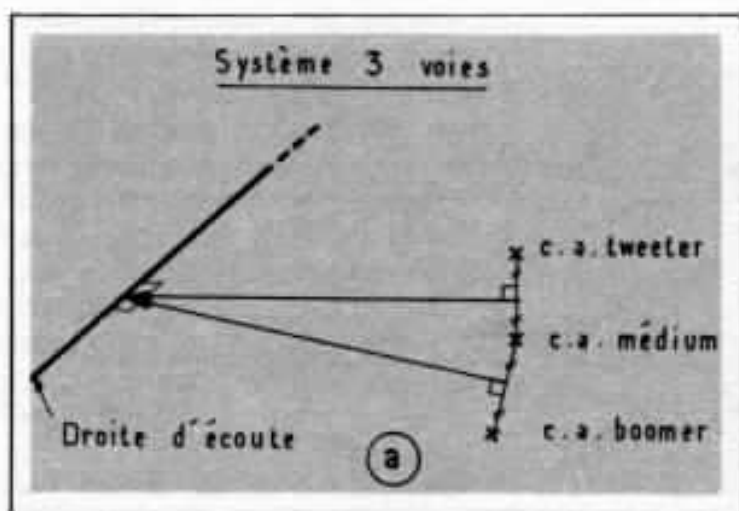


Fig. 7 Système 3 voies, écoute monophonique.

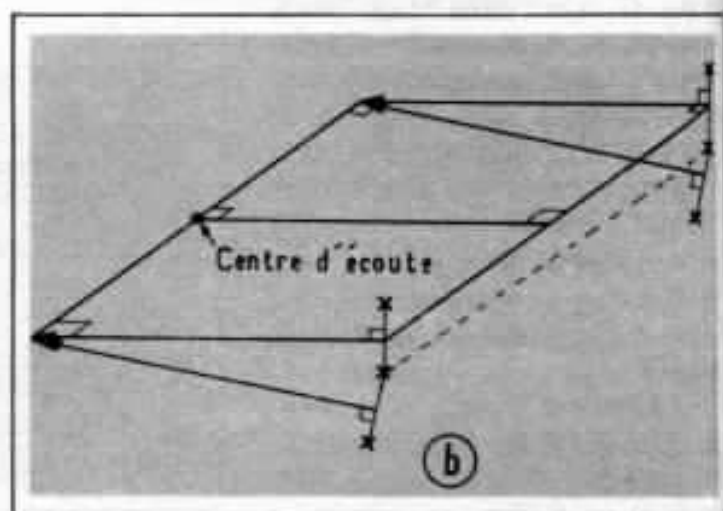


Fig. 7 bis Système 3 voies, écoute stéréophonique.

l'intersection de deux plans médiateurs, soit : une ligne droite (cf fig. 7). D'autre part, l'écoute étant réalisée en stéréophonie, il convient d'être situé à égale distance des deux enceintes, ainsi dans le premier cas la zone se limite à une droite et dans le second cas à un point (cf fig. 6 bis et 7 bis).

Pratiquement, on constate que le positionnement de l'auditeur ne réclame pas l'utilisation d'une chaîne d'arpenteur, en effet, bien que l'image stéréophonique idéale soit obtenue lorsque l'on est situé à égale distance des deux enceintes, l'auditeur assis sur l'un des fauteuils encadrant le siège de l'heureux élu, bénéficie tout de même d'une bonne illusion d'image sonore.

Par contre, le positionnement en hauteur est plus critique, ainsi, un auditeur situé assez loin du centre d'écoute, mais installé sur la droite d'écoute, ou du moins à la même hauteur, obtiendra une perspective sonore quelque peu déformée, mais bénéficiera malgré tout d'une analyse des timbres quasiment bonne. Nous reviendrons plus loin sur l'apport subjectif de la bonne réponse en phase d'un système de haut-parleurs.

• **Mise au point du filtre passif**

La bonne utilisation de la phase restitution d'un signal par une enceinte pose un certain nombre de problèmes que peu de construc-

teurs se sont attachés à résoudre :

Si on utilise un filtre passif, on est obligé d'opter pour des filtres à faible pente d'atténuation (6 dB/octave, puis éventuellement 12 dB/octave plus loin en bande affaiblie - cf fig. 4). Cette nécessité détermine le choix du type de haut-parleur utilisable.

• **Transducteur de grave**

Pour reproduire les basses fréquences on doit choisir des transducteurs très peu colorés dans le haut du spectre, faibles irrégularités en bande passante, peu de trainage dans le registre médium ces défauts étant peu diminués par l'action du filtre passe-bas d'autre part, la fréquence de coupure pure haute naturelle du haut

parleur doit être suffisamment élevée par rapport à la fréquence de coupure du filtre (quatre à cinq fois plus élevée) pour que les rotations de phase du haut-parleur soient faibles dans la bande passante du filtre et qu'ainsi le comportement en filtre passe-bas du haut-parleur soit négligeable devant l'action du filtre passe-bas qui le commande (cf fig. 8).

* Transducteur de médium

Pour le haut-parleur de médium, le problème se complique dans la mesure où l'on doit obtenir un système global haut-parleur plus filtre qui chute dans le grave et dans l'aigu à 6 dB/octave.

Dans l'aigu on laissera couper de lui-même le haut-parleur, en choisissant un transducteur assez linéaire dans le haut du spectre et en traitant judicieusement sa membrane ou sa calotte pour obtenir une pente naturelle de coupure à 6 dB/octave dans les hautes fréquences.

Pour les fréquences basses, on est confronté à un problème de tenue mécanique des haut-parleurs : comme nous l'avons évoqué plus haut une coupure à 6 dB/octave n'est pas suffisante pour limiter à une valeur constante l'élongation de la membrane, on devra donc choisir un haut-parleur de médium possédant une très bonne élongation et très solide, d'autre part, pour les mêmes raisons que sur le boomer, la fréquence de coupure (basse dans ce cas) du haut-parleur doit être située beaucoup plus bas que la fréquence de coupure choisie pour le filtre. Ces deux raisons empêchent pratiquement d'utiliser des médiums à fréquences de résonance élevées (au-dessus de 300 Hz), ainsi est-il très difficile de travailler avec des systèmes à dôme dont l'élongation est limitée, la surface d'émission sonore trop faible et la fréquence de cou-

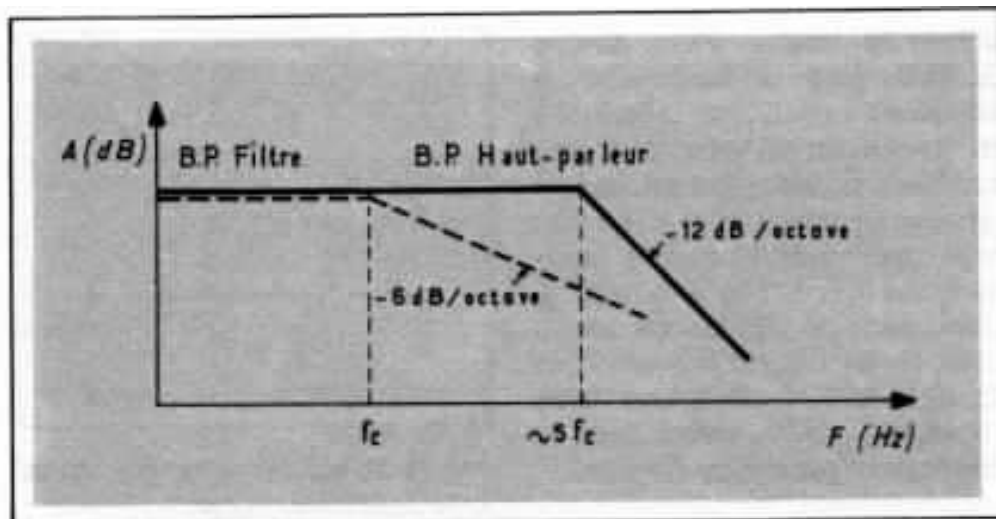


Fig. 8 Coupure d'un haut-parleur de grave, compte-tenu de sa coupure naturelle.

pure ou de résonance basse trop élevée, bien que ce type de haut-parleur possède de bonnes caractéristiques de linéarité en amplitude et en phase. On a donc le choix entre des systèmes électrostatiques ou électrodynamique plans qui grâce à leur faible inertie possèdent de très bonnes réponses impulsionnelles, mais dont les dimensions sont imposantes et les systèmes médium-boomer classiques à cône de petites dimensions qui résonnent toujours au-dessous de 100 Hz, grimpe quelquefois jusqu'à 10 KHz, et possède une bonne élongation puisqu'ils sont utilisés également comme boomer de mini-enceinte. Par contre ces systèmes sont souvent colorés et très irréguliers en bande passante surtout dans le haut du spectre. On est donc amené pour les utiliser à recourir à de savants traitements de membranes dont le double but est, de rigidifier la membrane pour diminuer les distorsions, augmenter la fréquence des résonances propres du cône, et d'amortir ces résonances propres situées dans le haut du spectre (au-dessus de 5 KHz). Ces traitements se révélant souvent insuffisants, on est obligé de recourir à un filtrage passif des défauts, souvent réalisé par des filtres coupe-bande amortis qui permettent de régulariser la réponse du haut-parleur.

* Transducteur d'aigu

Le tweeter compte tenu du filtrage adopté, est confronté au même problème que le médium quant à sa fréquence de coupure basse et pour les mêmes raisons que précédemment les tweeters à dômes sont pratiquement inutilisables puisqu'ils résonnent presque tous aux alentours de 3 KHz et qu'il est nécessaire de les filtrer à 12 dB ou 18 dB/octave pour ne pas les détruire.

Certains tweeters électrostatiques peuvent convenir bien que souvent leurs fréquences de résonance soient trop élevées. Les tweeters ioniques possèdent une réponse impulsionnelle parfaite lorsqu'ils ne sont affectés d'aucun pavillon, mais leur coût est élevé. Les tweeters à ruban actuels sont beaucoup trop fragiles pour être filtrés à 6 dB/octave.

Les tweeters piezo-électriques sont utilisés avec un pavillon qui provoque un trainage rédhibitoire en régime impulsionnel. Reste les tweeter à cône, dont certains modèles à bobine mobile de très petit diamètre (environ 10 mm) à faible masse, doués d'un bon amortissement dans les hautes fréquences, résonnent bas (moins d'1 KHz) et montent très haut (jusqu'à 40 KHz). Ces systèmes ne peuvent malheureusement pas être

utilisés au-dessous d'une dizaine de KHz, plage de fréquences où les colorations de leur membrane en aluminium ou en papier sont audibles, la distorsion est importante au-dessous de 5 KHz. On peut aussi utiliser de tels haut-parleurs, avec peu de modifications, dans de très bonnes conditions en les filtrant aux environs de 10 KHz, à 6 dB/octave et en choisissant des modèles dont la bande passante est très linéaire.

D'une manière générale comme on peut le voir l'utilisation du filtre du premier ordre nécessite le choix de haut-parleurs à très large bande passante.

La nature des haut-parleurs étant déterminée, les fréquences de raccordement des différents filtres résultent de ce choix.

A ce niveau, on doit poursuivre la mise au point grâce à une méthode permettant de tenir compte à la fois de la réponse en phase et de la réponse en amplitude des systèmes étudiés. On est donc ramené à une analyse en temps réel qui consiste à exciter le système : filtre plus haut-parleur, par un signal, puis à analyser les modifications apportées à ce signal par le système en question ; l'optimisation est obtenue par annulation de toutes modifications apportées par le système en réglant les différents composants qui le constituent.

On utilise comme signal de référence, une impulsion (cf figure 9) de durée et d'amplitude variable (cf chapitre précédent), dont les modifications peuvent être facilement interprétées et ainsi supprimées, cette technique est couramment utilisée pour mettre au point les systèmes électroniques.

Pratiquement, on dispose les différents haut-parleurs sur des baffles dont la position mutuelle peut être modifiée. On choisit la position du micro de mesure par rapport au prototype de l'enceinte

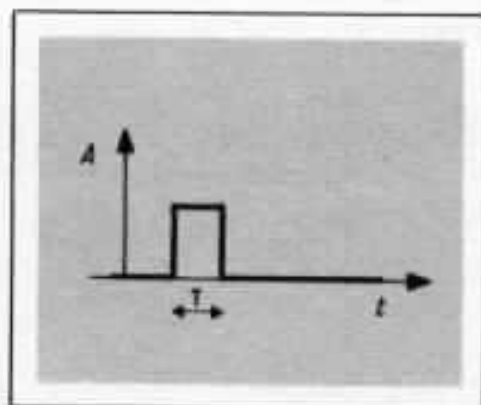


Fig. 9 Signal de référence utilisé pour la mise au point

te en sachant que cette position correspondra à la position d'écoute privilégiée de l'auditeur, celle dont nous parlions plus haut (en général, à 3 ou 4 m de l'enceinte et à la hauteur d'écoute d'un adulte assis dans un fauteuil). L'envoi d'une impulsion dans chacun des haut-parleurs permet d'ajuster la coïncidence de leurs centres acoustiques par dé-

placement de la position mutuelle de leurs baffles. Les débuts de réponses impulsionnelles de chaque haut-parleur doivent arriver simultanément sur le micro de mesure, on utilise la deuxième trace de l'oscilloscope, où l'on envoie l'impulsion électrique d'origine, comme référence de temps (cf photo 10).

Cette mise au point effectuée on s'aperçoit que les plans des baffles supportant les haut-parleurs doivent être déplacés de plusieurs centimètres les uns par rapport aux autres, ce qui oblige à utiliser une ébénisterie aux formes compliquées. On ne peut, d'autre part, laisser émettre un haut-parleur de médium ou un tweeter au ras du décrochement nécessaire au décalage spatial des haut-parleurs, sans provoquer des "effets de bords" désastreux en réponse impulsionnelle, on est donc

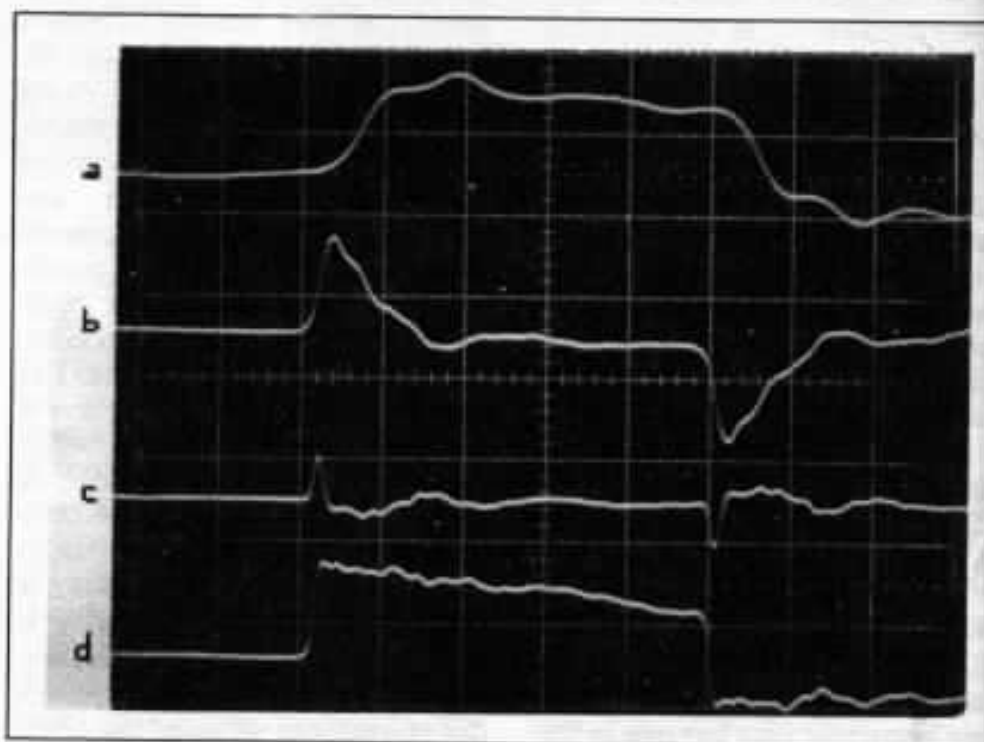


Fig. 10: Réponse individuelle, puis globale des haut-parleurs constituant une enceinte, à une impulsion d'1 ms. (On remarque la simultanéité du début de chaque impulsion).

- (a) réponse du boomer à une impulsion
- (b) réponse du médium à une impulsion
- (c) réponse du tweeter à une impulsion
- (d) réponse globale de l'enceinte

obligé d'espacer, en hauteur, les haut-parleurs les uns par rapport aux autres augmentant ainsi l'effet de focalisation du centre d'écoute (cf fig. 11).

Pour mettre au point le filtre proprement dit, on part des structures classiques de filtres du premier ordre, déterminés par le calcul. On constate malheureusement que la réponse globale à une impulsion obtenue en additionnant acoustiquement la réponse de chacun des haut-parleurs avec leur filtre, n'a qu'un lointain rapport avec l'impulsion d'origine.

En effet, le simple condensateur ou la self inductance qui suffit à constituer un filtre du premier ordre (à 6 dB/octave) lorsque la charge est une résistance pure n'est plus suffisante car le haut-parleur ne constitue pas une charge purement résistive, mais une charge complexe (cf courbe d'impédance classique d'un haut-parleur - fig. 12).

On doit donc intercaler entre le filtre à 6 dB/octave et le haut-parleur un étage passif qui est un filtre adaptateur d'impédance qui simule pour le filtre de coupure une charge purement résistive.

Mais cette modification reste insuffisante car toutes les irrégularités de bande passante du haut-parleur apparaissent sur sa réponse à une impulsion, il est donc nécessaire d'ajouter un troisième étage de filtre qui joue le rôle d'égaliseur de bande passante (cf photo 13 et 14).

Enfin pour ne pas charger l'amplificateur par un filtre à l'impédance trop tourmentée, on dispose en parallèle sur l'entrée de ce filtre un quatrième étage adaptateur d'impédance qui simule pour l'amplificateur une charge approximativement constante (cf schéma 15).

Toute la difficulté de mise au point réside dans le fait que les quatre étages sont interdépendants et que toutes modifications de l'un entraîne des modifications sur le fonctionnement des trois

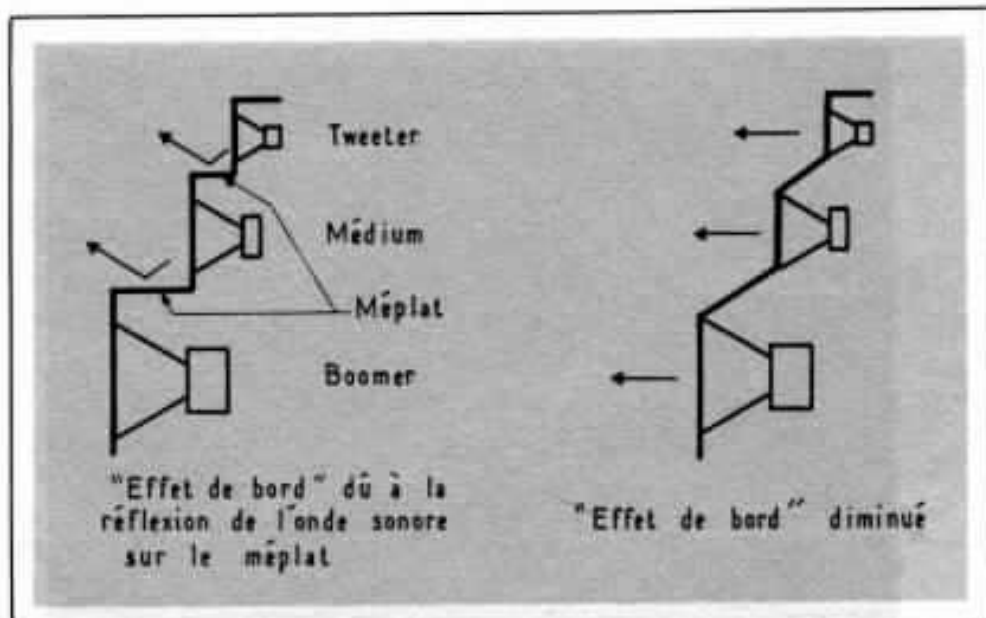


Fig. 11 :

- a - "Effet de bord" dû à la réflexion de l'onde sonore sur le méplat
b - "Effet de bord" diminué.

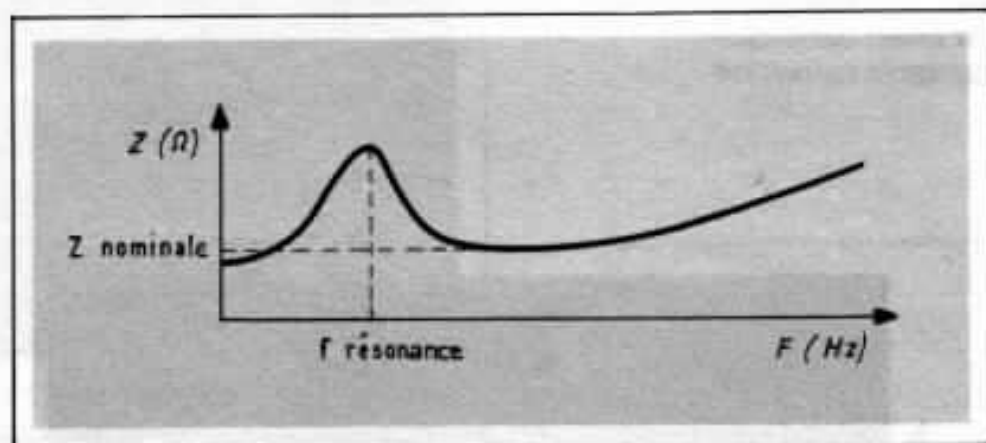


Fig. 12. Courbe d'impédance classique d'un haut-parleur

autres, on ne peut donc pas optimiser indépendamment leurs fonctions respectives.

Après s'être lassé d'un réglage "hasardeux" qui ne permet pas d'obtenir une optimisation de l'ensemble, on recourt à une méthode de résolution algorithmique beaucoup plus rigoureuse qui permet par réglages successifs de chacun des étages, dans un ordre déterminé, de tendre vers la solution optimum qui est unique.

Toutes les modifications apportées au système de filtrage sont évidemment contrôlées grâce à la réponse de ce système à une impulsion et ces réglages sont bien entendu, effectués simultanément

sur toutes les voies pour obtenir une optimisation de la réponse globale de l'enceinte acoustique.

La précision du réglage optimum est fonction de l'ordre de complexité du filtre et on peut l'améliorer en augmentant le nombre de ses composants, on se limite pour des raisons pratiques à moins d'une trentaine de composants, ce nombre permettant de reporter, en général, les défauts principaux de la réponse de l'enceinte à environ moins vingt décibels par rapport au niveau nominal de l'impulsion (cf photos 16 et 17).

Cette méthode permet d'étudier la réponse de l'enceinte sur

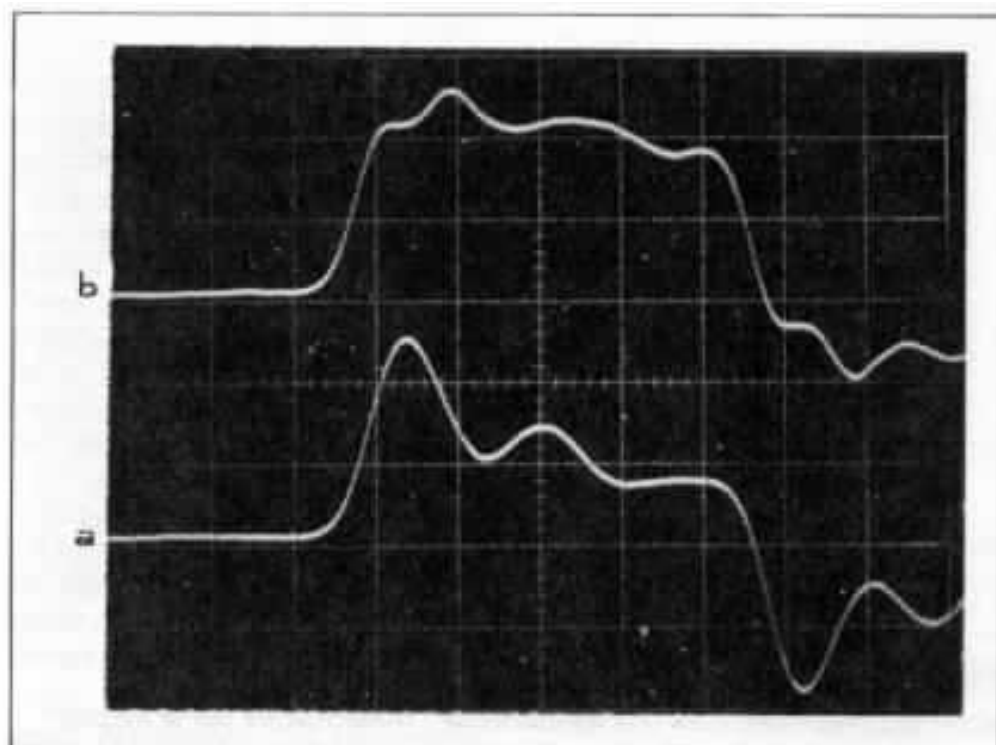


Fig. 13 : Réponse du boomer à une impulsion d'1 ms.
 (a) avant correction
 (b) après correction

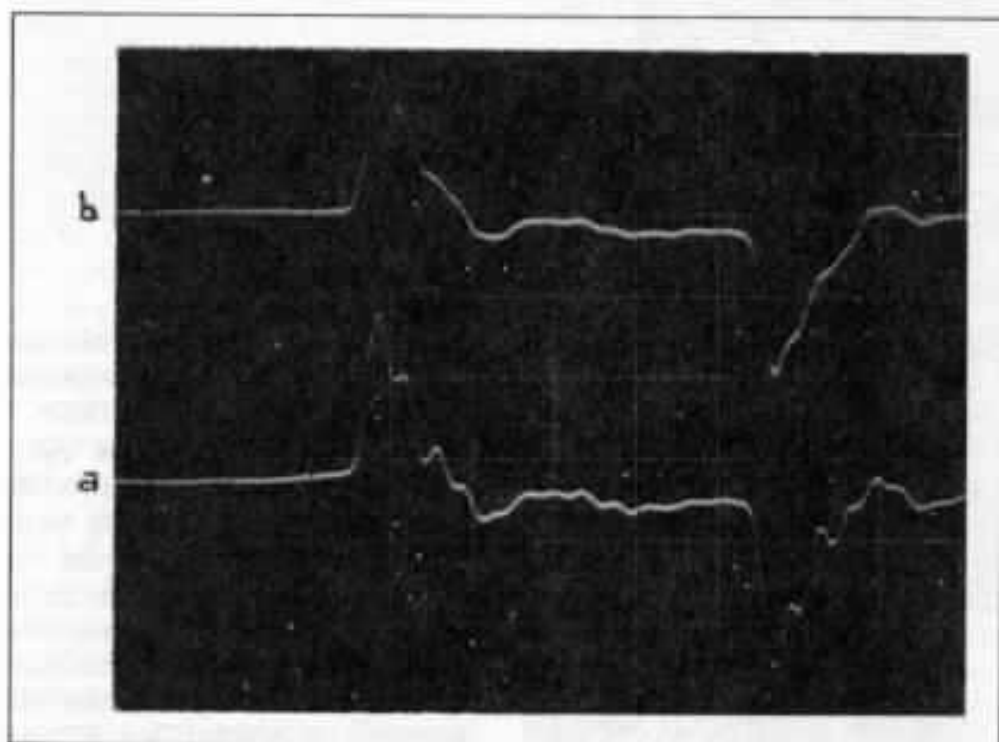


Fig. 14 : Réponse du médium à une impulsion d'1 ms.
 (a) avant correction
 (b) après correction

tout la largeur de la bande audio, puisque la longueur de l'impulsion est réglable et que le spectre de fréquences qui lui correspond s'étend jusqu'aux plus basses fréquences (voir chapitre précédent). Lorsque l'enceinte reproduit une impulsion avec une précision donnée, elle est à même de transmettre avec une précision voisine n'importe quels types de signaux sonores transitoires, sa réponse en bande passante est très régulière (environ ± 2 dB) et sa réponse en phase également ($\pm 20^\circ$)

• Originalité de certains filtres actifs

La même étude menée en filtre actif est plus simple, en effet, dans ce cas les deux étages adaptateurs d'impédance sont supprimés et les étages filtre de coupure et filtre égaliseur ne sont plus dépendants. Cette simplification pour le metteur au point se traduit par une complication importante de l'installation qui ne permet pas de justifier leur utilisation pour cette unique raison.

Mais certaines structures de filtre actif possèdent une originalité propre, et ne sont pas qu'une transcription active d'un système pouvant être réalisé avec des circuits passifs.

Il s'agit de filtres à "complémentation"; dans ce principe appliqué à une enceinte deux voies, on impose une pente de coupure pour le filtre du tweeter, par exemple, et on commande le boomer-médium par le signal résultant de la différence effectuée entre le signal d'entrée et le signal envoyé au tweeter par l'intermédiaire de son filtre. Le signal de différence est donc bien le complément idéal qu'il faut ajouter au tweeter pour obtenir le signal d'origine. (cf fig. 18).

Ce système très astucieux n'est pourtant pas idéal, on peut imposer la coupure que l'on désire à

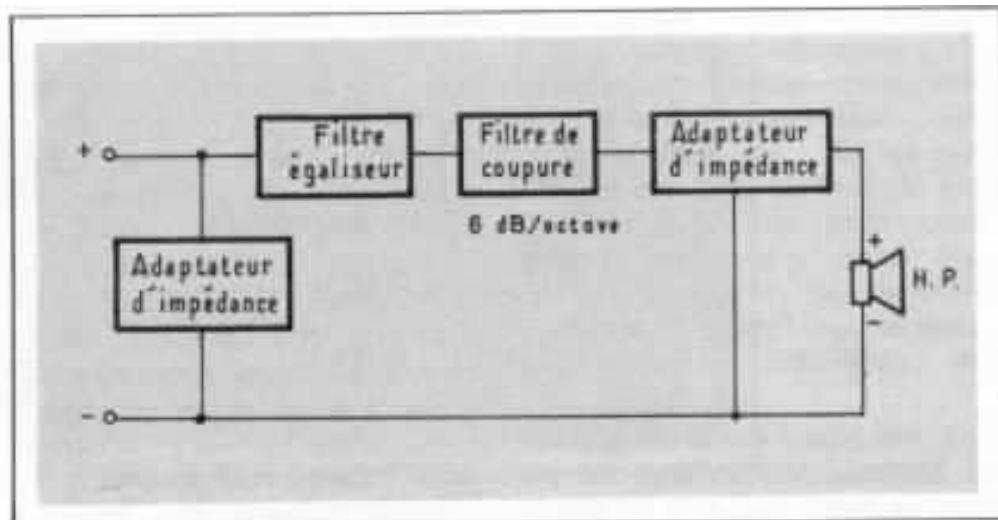


Fig. 15 Schéma global de filtrage de chaque haut-parleur

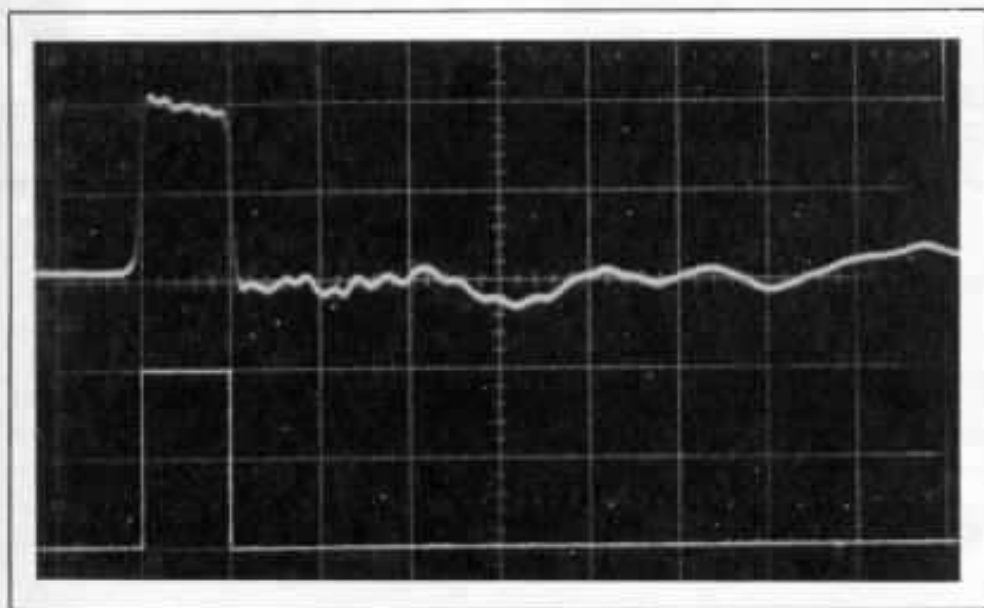


Fig. 16 : Réponse d'une enceinte mise au point suivant ce procédé à une impulsion de 200 µs (temps de montée inférieure à 20 µs).

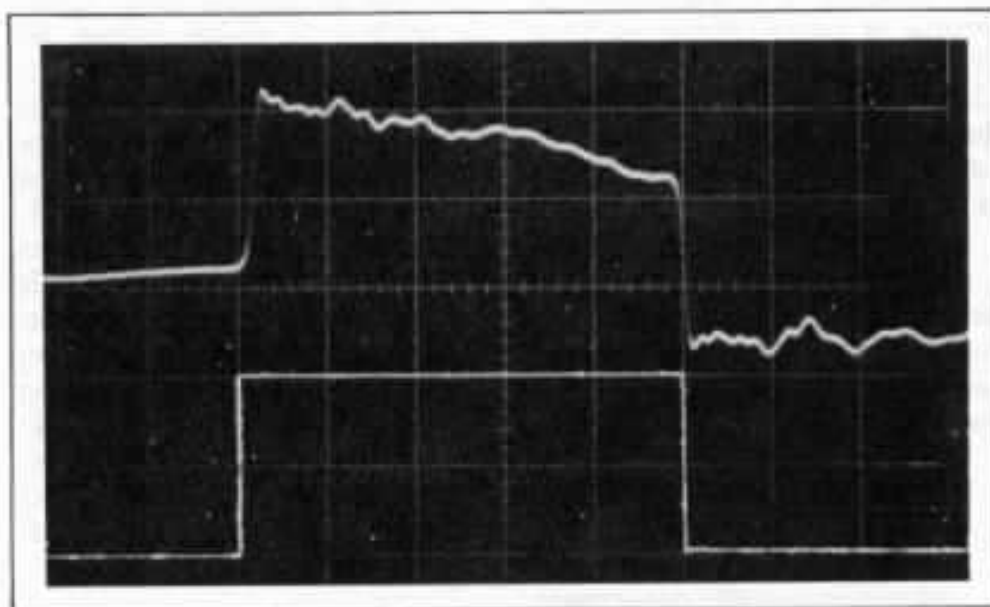


Fig. 17 : Réponse de l'enceinte mise au point suivant ce procédé à une impulsion d'1 ms (la différenciation au signal correspond à une fréquence de coupure basse d'environ 25 Hz).

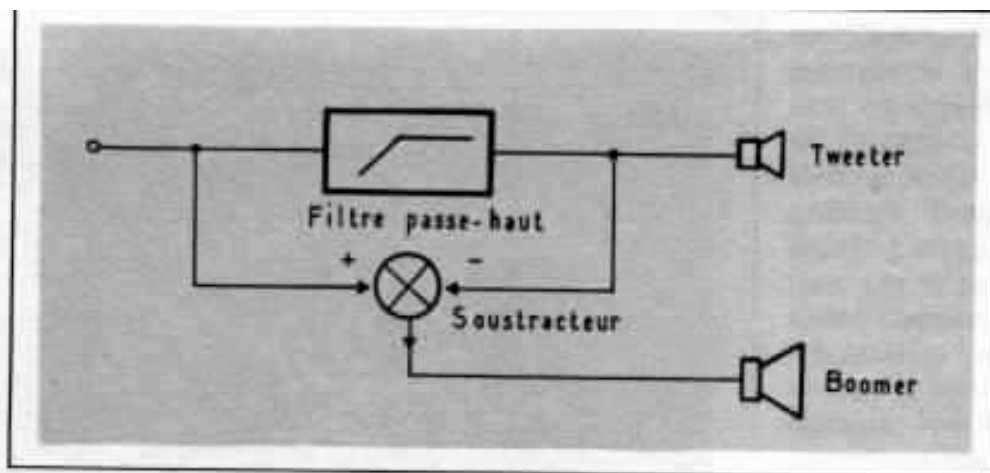


Fig. 18 Schéma d'un filtre à complémentation 2 voies.

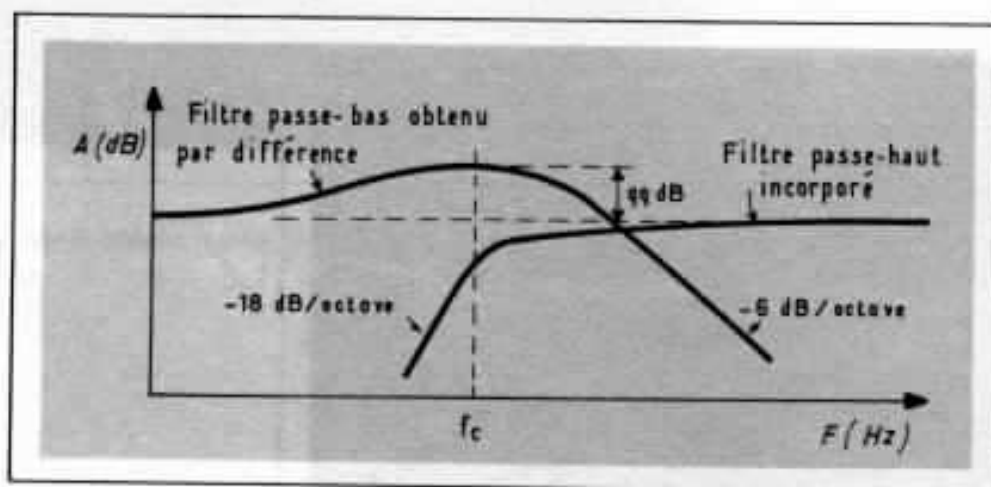


Fig. 19 Courbe de réponse d'un filtre 2 voies à complémentation.

l'un des haut-parleurs mais la coupure obtenue sur l'autre haut-parleur est décevante : toujours une coupure à 6 dB/octave et lorsque la pente choisie est trop importante (supérieure à 12 dB/octave) la faible atténuation est aggravée d'une bosse en bande passante de plusieurs décibels (cf fig. 15).

Ce procédé peut être généralisé à des enceintes comportant plus de 2 voies, mais ne constitue pas une solution idéale au difficile problème du filtrage des haut-parleurs.

• Ecoute subjective

Une vieille querelle concernant l'importance de la phase a toujours divisé les acousticiens en deux écoles, ceux qui soutiennent

que la phase ne s'entend pas et que les belles considérations évoquées au long de cet article ne sont pas nécessaires pour tenter de restituer la réalité sonore, les autres pensent au contraire que la phase étant liée à la notion de temps de propagation de groupe de l'information, détermine l'ordre d'arrivée aux oreilles de l'auditeur, des différentes plages de fréquences qui constituent le contenu du message sonore et qu'un système retardant certaines plages de fréquences par rapport à d'autres, provoque des effets de masque sur ces fréquences, l'oreille étant plus sensible aux signaux qu'elle perçoit les premiers.

Notre conviction en la matière - qui est basée sur des expérimentations auditives réalisées

avec des systèmes en phases et des systèmes qui ne l'étaient pas ; et qui n'est pas définitive, comme rien ne peut l'être dans une science physique en pleine évolution - est : qu'une bonne restitution de l'amplitude et de la phase par un système de haut-parleur ou par tout autre maillon de la chaîne est absolument nécessaire, mais est largement insuffisant.

En effet, il paraît indiscutable aux personnes qui en ont fait l'expérience que l'écoute en stéréophonie d'un système de haut-parleur correctement étudié au niveau de la phase, permet d'obtenir une image sonore qui se crée dans l'espace et que cette image semble occuper un volume (tout comme dans la réalité) sans appartenir à un plan situé au niveau des enceintes comme c'est trop

souvent le cas dans les systèmes conventionnels.

D'autre part, la disposition de ce volume sonore n'est pas immuable, mais est étroitement liée à la nature de la prise de son (de ce point de vue, les prises de son réalisées avec un couple de micros ou une tête artificielle donne les images sonores les plus réalistes) ; il semble donc bien que ces systèmes qui n'imposent pas aux signaux une relation de phase particulière, permettent de mettre en évidence des informations spatio-temporelles dissimulées par les systèmes conventionnels.

Enfin, et ce point est le plus important pour les mélomanes, les timbres et l'unité sonore qui caractérisent chaque instrument

sont conservés, l'acidité et la dureté artificielle sont largement diminuées et il n'y a plus de "mise en avant" de certaines caractéristiques instrumentales. Ces systèmes permettent de différencier avec beaucoup plus d'aisance la nature des matériaux qui constituent l'instrument (bois, peau, cuivre, etc). Ces propriétés sont évidentes sur la reproduction de bruits familiers ou de la voix humaine.

Par ailleurs, une bonne "mise en phase" est largement insuffisante, en effet, la comparaison de systèmes ayant à la fois une bonne réponse en phase et une bonne réponse en amplitude met en évidence des différences, ne concernant pas l'homogénéité dont nous venons de parler, mais

en relation avec la quantité d'informations transmises, la proximité de l'image sonore et la concision de chaque instrument dans l'espace, etc... En un mot tout ce qui fait, qu'avec un peu d'imagination, on peut avoir «l'impression d'y être», ou qu'au contraire les défauts situés pourtant, à moins vingt décibels, suppriment la crédibilité du message sonore.

En guise de conclusion provisoire, un système correctement en phase est une base sérieuse pour aborder la mise au point d'une enceinte acoustique au niveau de tous ces épiphénomènes qu'on explique mal, qu'on mesure difficilement et qui constituent un champ d'investigations originales à défricher...

**Page non
disponible**

Un aspect du haut-parleur de grave moderne

Bobine longue ou bobine courte ?

Jacques Mahul

L'évolution du haut-parleur électrodynamique pour la reproduction du grave, ces dix dernières années, s'est faite autour de l'idée qu'un haut-parleur de petit diamètre, à bobine mobile longue et suspension souple donnait de meilleurs résultats qu'un haut-parleur de grand diamètre à suspension rigide et à faible capacité de déplacement. Ceci a conduit à la fabrication de haut-parleurs de 13, 17 et 21 cm, à résonance très basse de 20 à 35 Hz et à bobine très longue de 12 à 18 mm pour se prémunir des problèmes de linéarité. L'étude qui suit montre que cette solution n'est pas sans inconvénients et que la bobine longue n'est pas toujours, comme on pourrait le penser, un gage de linéarité.

Introduction

Si nous prenons un haut-parleur à suspension souple (PVC, mousse, caoutchouc...) et à bobine longue (12 mm de longueur de bobine pour une plaque de champ de 6 mm par exemple) et que nous appliquons une tension variable à une fréquence fixe située dans la gamme 30 à 60 Hz

nous constatons fréquemment que la position de repos de l'équipage mobile se déplace quand la tension augmente. Nous observons que le diaphragme du haut-parleur sort ou s'enfonce selon les cas, tout en se déplaçant à la fréquence du signal d'entrée et cela à partir d'une valeur de la tension qui n'excède pas quelques volts.

Instabilité des haut-parleurs à bobine mobile

Nous observons deux phénomènes qui sont corrélés: les diaphragmes à bobine mobile sont susceptibles de dériver à partir de leur position zéro et ensuite aux fortes amplitudes l'équipage

mobile n'est plus contrôlé, la bobine sortant brutalement du circuit magnétique. Les deux phénomènes trouvent leur origine dans les fuites du champ magnétique.

La force motrice (le nombre de tours de bobinage qui baignent dans le flux moteur) n'est pas constante en fonction de la position de la bobine mobile, même quand celle-ci est très longue. La valeur maximale de la force motrice est atteinte à la position zéro et chute dès que la bobine se déplace d'un côté ou de l'autre. Dans la région où la masse est contrôlée, la bobine glisse vers le champ le plus faible, c'est-à-dire qu'elle est fondamentalement instable. Cette instabilité constitue la cause majeure de distorsion dans les haut-parleurs à bobine longue, aux basses fréquences.

Mise en évidence du phénomène

La dérive aux basses fréquences est bien connue des spécialistes depuis des années, elle n'est cependant mentionnée que dans certains ouvrages et a été baptisée "electromechanical rectification" par Mac Lachlan.

Dans les haut-parleurs de basses fonctionnant suivant le principe classique de la bobine mobile celle-ci est, en général, plus longue que la hauteur de l'entrefer. Aux basses fréquences, lorsque le niveau d'entrée croît la bobine mobile glisse lentement à partir de sa position médiane vers l'intérieur ou l'entrefer de l'aimant, et tout à coup le cône se déplace de façon incontrôlée, sortant du champ, étant seulement retenu par la raideur des suspensions (suspension périphérique et spider). Dans ces conditions la suspension externe peut être tendue à la limite de son élasticité, bien au delà de sa limite normale de déplacement, l'amplitude est réduite et la distorsion élevée.

Dans certains cas, le cône ayant

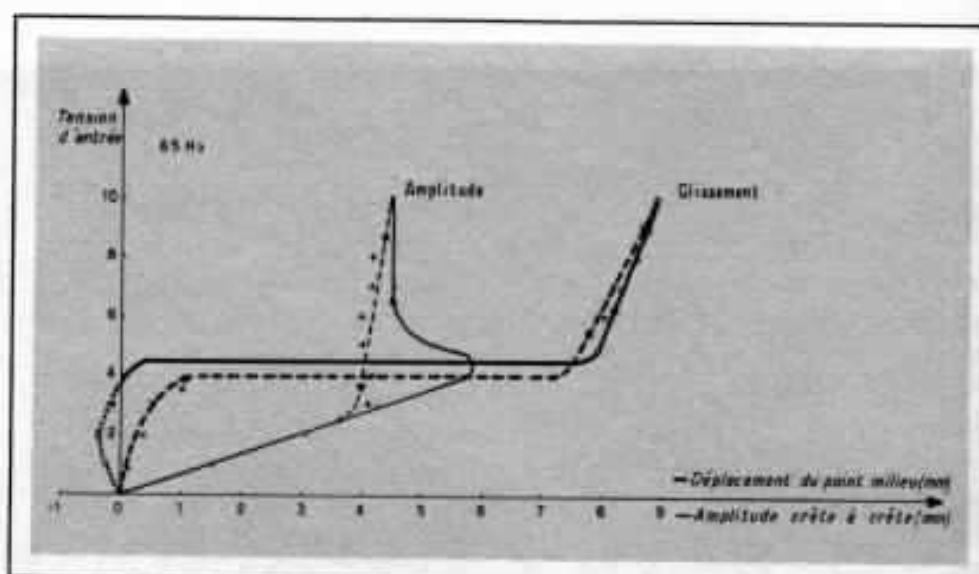


Fig. 1 - Amplitude et glissement du point milieu d'un H.P. de 17 cm monté dans un coffret clos (longueur de la bobine : 2,2 X épaisseur de la plaque du champ).

effectué ce bond non contrôlé peut surosciller dans une position en arrière ou en avant de la position médiane mais il n'oscillera pas aux environs de cette même position médiane. Le phénomène se produit de la même manière, le haut-parleur à l'air libre ou monté dans un coffret et de toute façon sera le plus accentué à une fréquence située juste au dessus de la résonance. Comme il s'écoule un certain temps avant que le cône n'effectue ce saut incontrôlé, l'effet acoustique n'est en fait ressenti que sur les notes les plus graves et à un niveau élevé. Cela a été plus particulièrement mis en évidence depuis la création des haut-parleurs de petit diamètre (13, 17 et 21 cm) et à suspension très souple (PVC, caoutchouc) et à bobine longue (12 à 16 mm).

Examen stroboscopique

D. A. Barlow retrace que des expériences ont été réalisées avec plusieurs haut-parleurs d'un diamètre de 17 cm dont la bobine possédait une longueur d'un peu plus de deux fois la hauteur de la plaque de champ. Ces haut-parleurs ont été examinés au stroboscope Brüel et Kjaer qui a l'avantage d'être continuellement

réglable de façon à geler le mouvement en n'importe quel point du cycle de fonctionnement. Les extrêmes d'amplitude ont été mesurés et le glissement du point milieu déterminé. Dans la figure 1 nous avons relevé deux courbes correspondant, d'une part, au déplacement crête à crête et d'autre part au glissement du point de milieu de la bobine par rapport à la position médiane de la plaque de champ, le tout à la fréquence de 65 Hz. La figure montre le saut brutal qui se produit au niveau d'entrée de 4,4 V et qui est à peine prévisible à 4,2 V. Même aux fréquences aussi élevées que 150 Hz ou l'amplitude est inférieure à 1 mm, un déplacement graduel et une non-linéarité se produisent. Deux choses pourraient alors améliorer la linéarité de fonctionnement : une augmentation de la longueur de la bobine, jusqu'à 3 fois l'épaisseur de la plaque de champ et une suspension plus rigide.

Force motrice et nombre de spires baignant dans le flux

Pour affirmer qu'une bobine longue et une plaque de champ de faible épaisseur garantissent l'obtention d'une force motrice cons-

tante dans les limites de la longueur de la bobine mobile, on fait le raisonnement suivant: lorsqu'une extrémité pénètre dans un champ faible, l'autre extrémité se déplace, elle, dans un champ fort et il y a compensation des deux phénomènes. Cependant l'examen du nombre de spires baignant dans le flux, qui détermine presque directement la force motrice, montre qu'il n'en est nullement ainsi. En effet, la force n'est pas constante et le gain obtenu par le déplacement dans un champ élevé est toujours anihilé et dépassé par la perte à l'autre extrémité qui se meut dans un champ faible. Le nombre de tours de bobinage soumis au flux décroît dès l'instant où la bobine se déplace hors de sa position de repos. Trois schémas simplifiés nous permettent de le constater en figure 2. Le nombre de spires baignant dans le flux est proportionnel à la surface sous la courbe couverte par la bobine mobile.

Si le flux magnétique était totalement concentré dans l'entrefer, ce qui est le cas de la figure 2 A, le nombre des tours de bobinage baignant dans le flux serait constant tant que la totalité de l'entrefer serait rempli par la bobine mobile.

La figure 2 B nous place dans le cas simplifié d'un décroissement linéaire du champ magnétique. Nous avons placé deux bobines. La bobine I à une longueur conventionnelle tandis que la longueur de la bobine II est nettement plus importante. Si nous étudions le comportement de la bobine I, nous constatons les faits suivants. Si celle-ci se déplace d'une unité vers la gauche on aura gagné une unité de flux multipliée par la longueur de bobinage, mais à droite on aura perdu 3 unités ... etc. ... Le nombre de tours de bobinage baignant dans le flux magnétique est maximum à la position zéro et décroît de chaque côté de cette position. Une très longue bobine comme la bobine

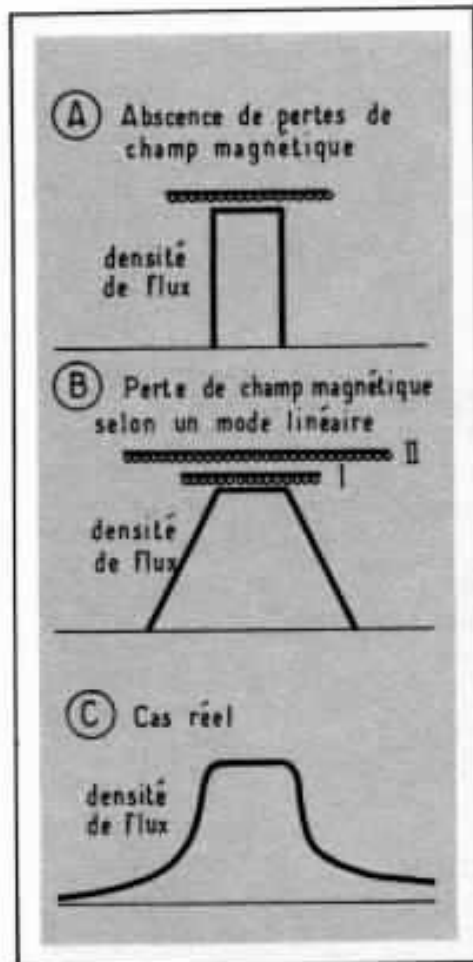


Fig. 2 - Perte de flux et nombre de spires baignant dans le flux

II recouvrant totalement tout le flux fournira une force motrice constante sur une certaine plage de mouvement. Mais dans le cas pratique, celui de la figure 2 C, seule une bobine infiniment longue permettrait de remplir cette condition.

Des mesures de force motrice sur une bobine ont été relevées en utilisant une balance et une tension continue appliquée avec la bobine disposée en plusieurs positions le long de l'axe de l'entrefer. Ces mesures ont été relevées par Barlow et reportées en figure 5. Elles confirment le fait que la force maximale se situe effectivement à la position zéro, la force chutant rapidement de chaque côté de cette position.

Principales causes de la dérive et du saut brusque hors du champ

La Figure 3 A nous montre que

dans la région dite à "masse contrôlée" c'est à dire la zone de fréquence située au-dessus de la résonance, la composante de l'accélération est en opposition de phase avec la composante du courant d'entrée. Mais il existe un phénomène dont il faut analyser l'effet: la bobine se déplace dans une région où la force magnétique varie avec la position de celle-ci. Effectivement, quand le courant croît à partir du temps 0, la bobine se déplace dans un champ plus fort. Celle-ci sera, en conséquence, soumise à une force dirigée vers le haut, plus forte de sorte que l'amplitude vers le bas dans cette demi-période sera réduite comparée au cas du champ uniforme. Au temps P, le courant s'inverse, la bobine se déplace dans un champ plus faible et la force vers le bas étant inférieure, l'amplitude supérieure augmentera dans cette deuxième moitié de période plus que dans le cas d'une sinusoïde simple. Cela a pour effet de déplacer la bobine vers le champ le plus faible. Donc, au-dessus de la résonance, le système est fondamentalement instable, une dérive du point milieu ainsi qu'une non-linéarité sont à attendre. Aux fréquences plus élevées, on observera une dérive du point zéro mais l'amplitude sera trop faible pour provoquer le saut brutal hors du champ. Ce saut de l'équipage mobile se produit plus souvent à l'extérieur du circuit magnétique plutôt qu'à l'intérieur de celui-ci car les fuites magnétiques sont plus faibles à l'extérieur qu'à l'intérieur.

En dessous de la résonance, dans la région dite à "raideur contrôlée", le haut-parleur est fondamentalement stable et la bobine aura toujours tendance à revenir au point milieu où le produit BL "facteur de force" est maximal.

Influence de l'impédance motionnelle

Harwood a remarqué qu'à la

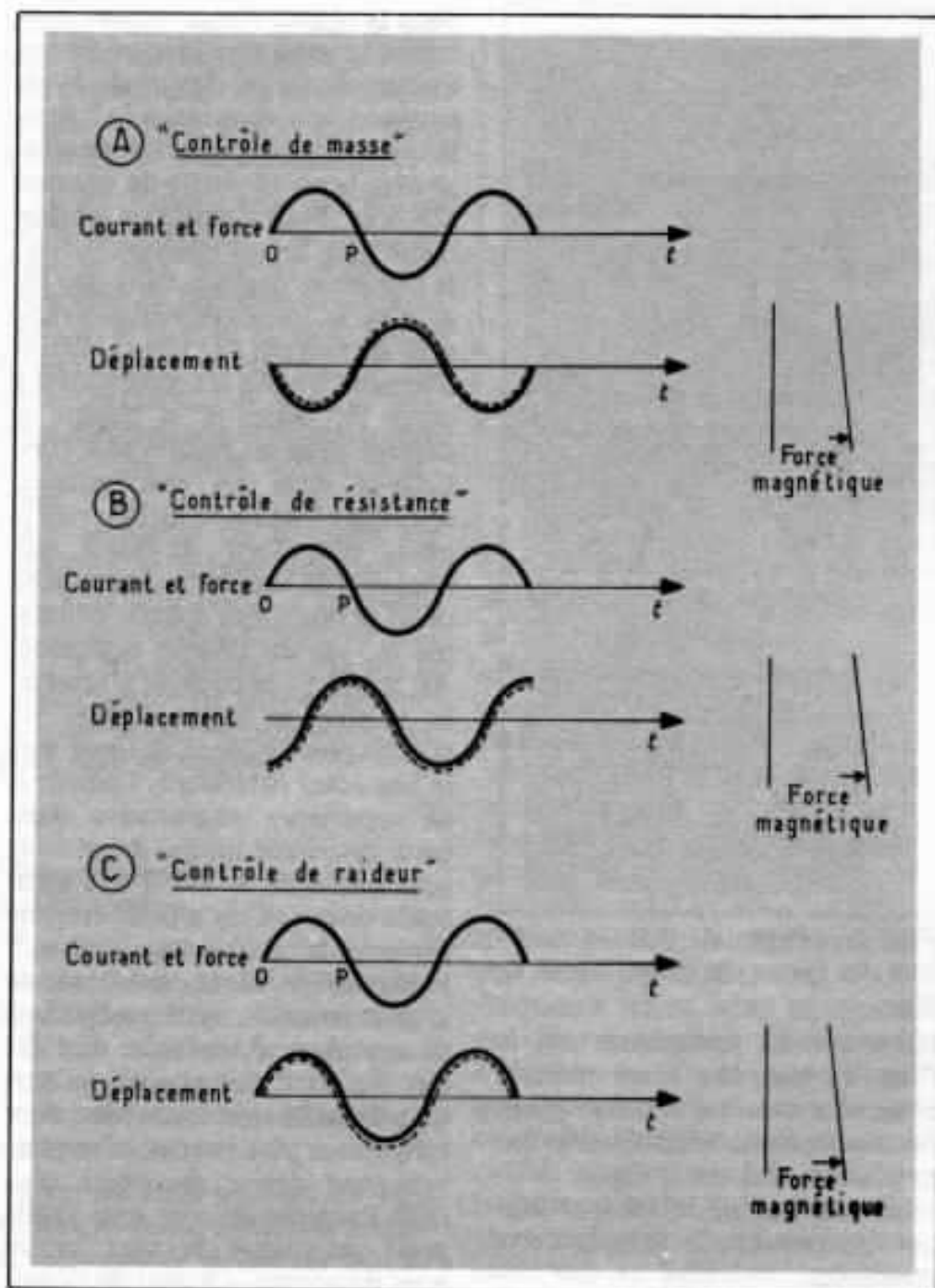


Fig. 3 - Dérive du point zéro en fonction de la variation de la force magnétique

résonance, quand la bobine se meut dans une région de densité de flux basse, la force motrice est réduite dans la même proportion que le flux. L'impédance électrique motionnelle sera elle réduite comme le carré de la densité de flux. C'est à dire que, pour un courant donné, si le flux est réduit de moitié la force motrice est, elle aussi, réduite de moitié mais son impédance électrique motionnelle n'est seulement qu'au quart de sa valeur initiale.

Si on applique à l'entrée du

haut-parleur une source à voltage constant, le courant circulant dans le haut-parleur sera quatre fois supérieur de sorte que la force motrice sera, au total, doublée malgré un flux plus faible. Harwood a remédié à ce problème en augmentant la raideur de la suspension, prouvant une amélioration considérable de la linéarité.

L'impédance électrique motionnelle :

$$Z_{EM} = \frac{(BL)^2}{Z_{MT}}$$

ou BL est le facteur de force dans une position donnée.

Z_{MT} est l'impédance mécanique totale du système, c'est à dire résistance et réactance de la suspension et la charge de l'air sur le diaphragme.

L'impédance électrique motionnelle donne la force centre électromotrice générée par le mouvement de la bobine :

$$E_B = Z_{EM}i$$

La tension à travers la bobine est: $E - E_B$ ou E est la force électromotrice appliquée soit :

$$i = \frac{E - E_B}{Z_{EC}} = \frac{Z_{EC}}{E - Z_{EM}i}$$

$$i = \frac{E}{Z_{EC} + Z_{EM}}$$

où Z_{EC} est l'impédance électrique de la bobine bloquée.

La résonance fondamentale est à une fréquence basse, où l'impédance électrique de la bobine est à peine supérieure à la résistance en continu, l'inductance de la bobine étant très basse.

Pour différentes valeurs de la densité de flux B, les différentes valeurs du nombre de spires pénétrant dans le flux, d'impédance motionnelle, du courant et de la force motrice ont été calculées pour un haut-parleur de 17 cm de diamètre. Les valeurs de la force motrice ont été réparties en figure 4. On pourra remarquer qu'on observe une remontée considérable de la force motrice de part et d'autre de la position zéro et de ce fait les amplitudes sont, elles aussi, plus importantes dans ces régions. L'effet diminue rapidement en dehors de la résonance comme on pouvait s'y attendre. Les valeurs pour 10 et 25 Hz ont été reportées. Aux environs de 100 Hz, les effets contraires se neutralisent et la force est pratiquement constante sur une amplitude crête-crête de ± 2 mm. Ceci

expliquerait pourquoi la distorsion ne croit pas toujours continuellement quand la fréquence diminue.

Bobine courte et plaque de champ épaisse

Une manière d'éviter cette instabilité serait d'utiliser une bobine très courte se déplaçant dans une plaque de champ très épaisse, cela est en partie réalisé par KEF pour le modèle de 20 cm bextreme type 1039. Car si la bobine fait environ 4 mm, la plaque de champ a une épaisseur d'environ 10 mm ce qui n'est peut être pas suffisant. On peut penser qu'une bonne réalisation serait une plaque de champ de 16 mm et une bobine de hauteur de bobinage 4 mm. La force magnétique est constante sur une distance de 12 mm, environ, de sorte que la bobine a une latitude de ± 4 mm pour se déplacer dans un champ uniforme.

Un haut-parleur réalisé de la sorte examiné au stroboscope a montré que la linéarité était excellent jusqu'à l'amplitude ± 4 mm et que le saut brusque noté précédemment ne se produisait qu'à l'amplitude proche de ± 6 mm. Nous pouvons le constater en figure 8. Il y a encore un peu de dérive du point zéro mais cela peut être réduit en donnant à l'alésage de la plaque de champ un léger profil de tonneau procurant un peu moins de flux à la position médiane.

Inconvénients de la solution bobine courte plaque de champ épaisse

— Tout d'abord cette solution est particulièrement onéreuse dans la mesure où un seul quart du volume de l'entrefer n'est occupé par le bobinage, et si nous voulons un haut-parleur qui ne possède pas un rendement trop faible, il est nécessaire d'obtenir un minimum de champ de 10 000 gauss dans tout l'entrefer. Cela nécessite l'emploi d'un aimant,

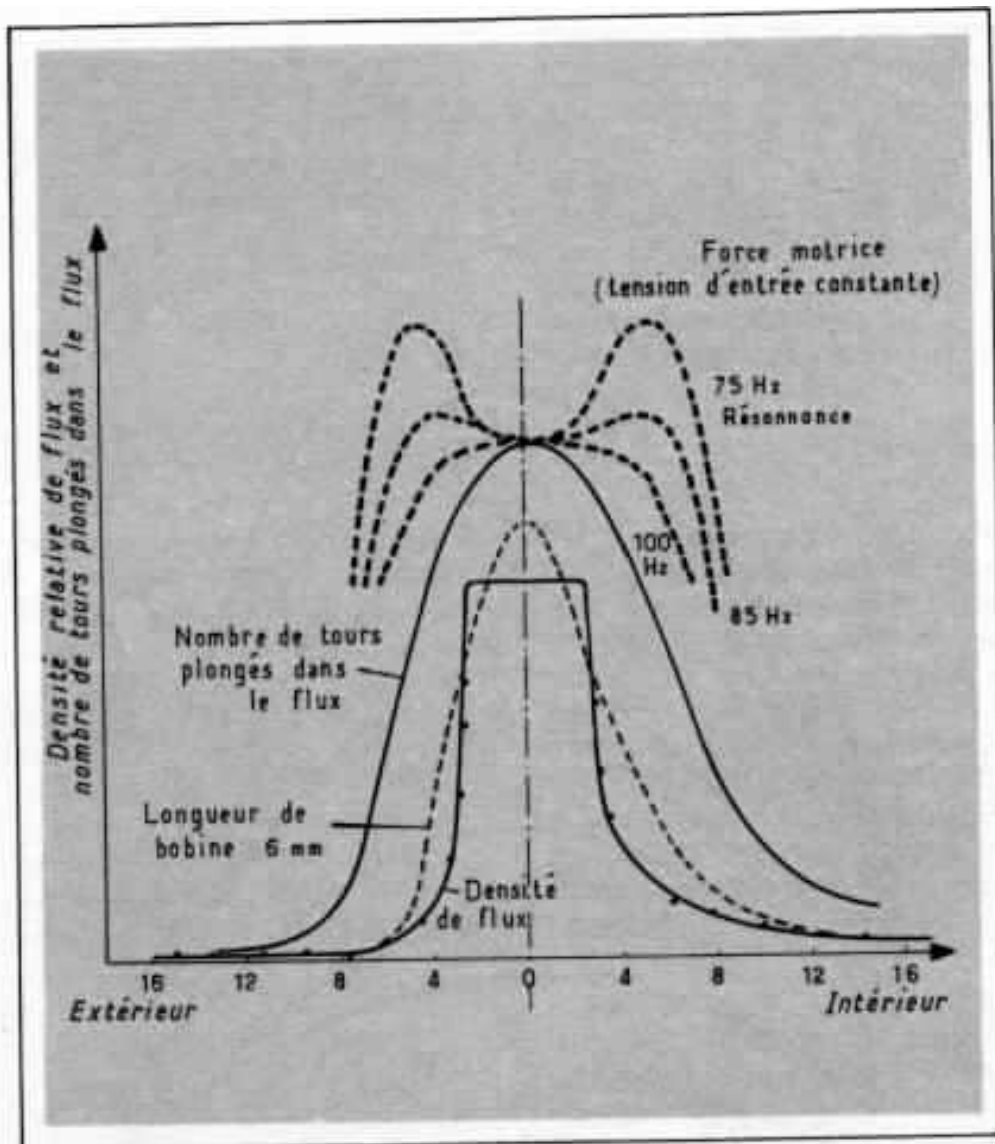


Fig. 4 - Distribution du flux et force motrice

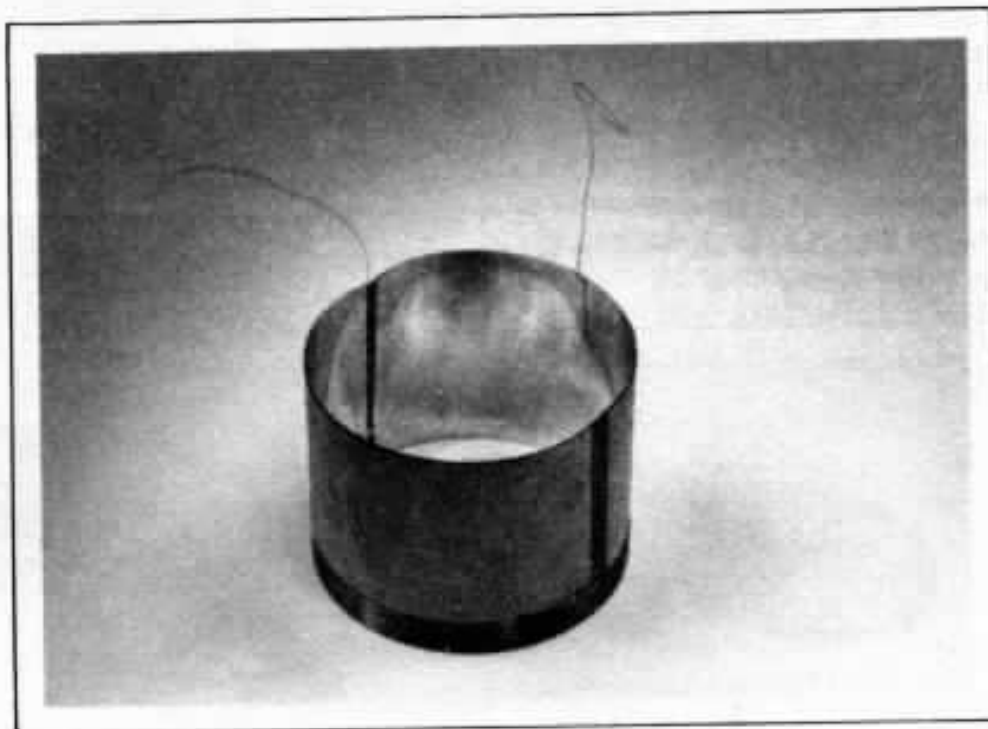


Fig. 5 - La mobile mobile. On remarquera le support en aluminium

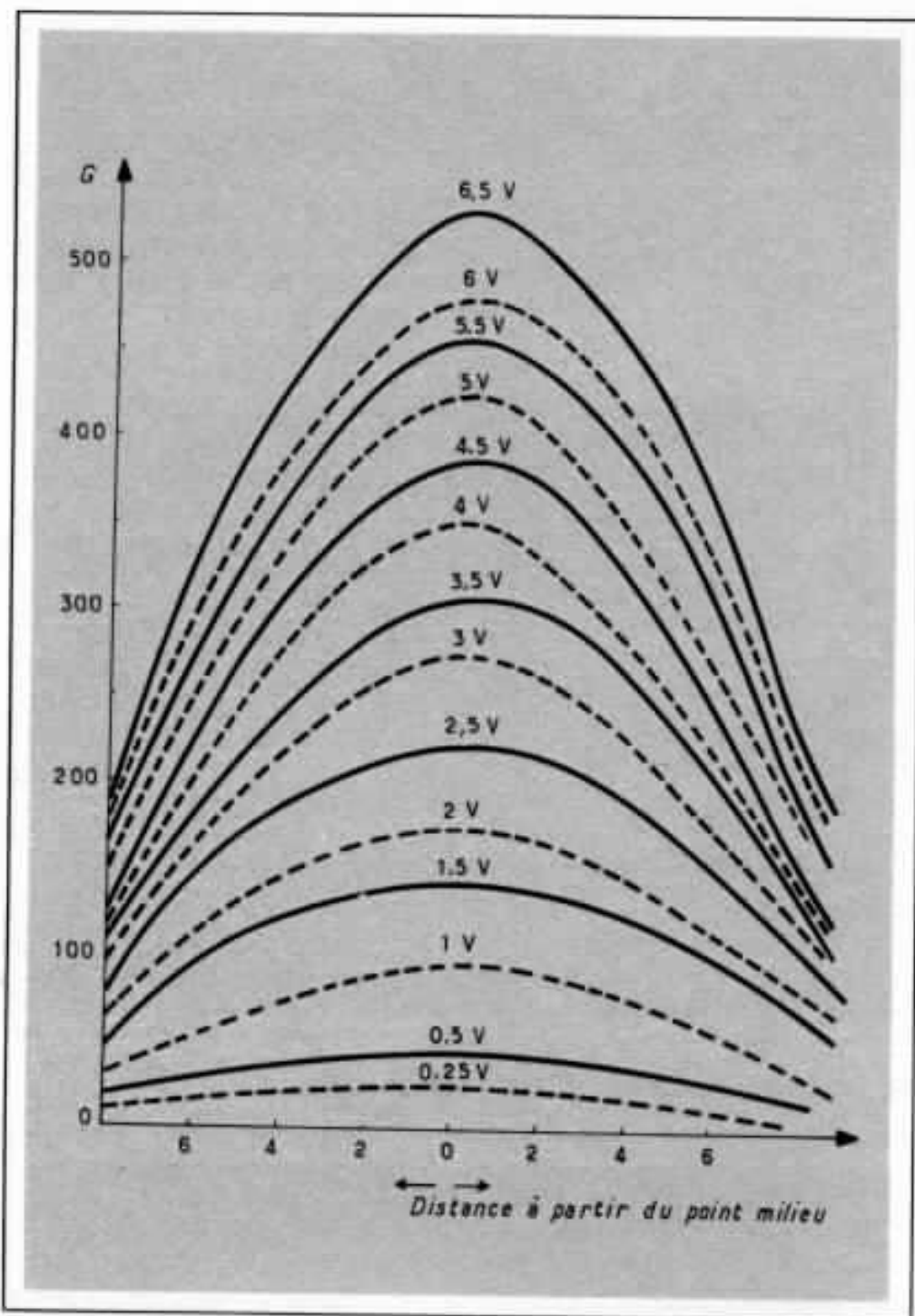


Fig. 6 - Variation du champ en fonction du déplacement à partir du point milieu

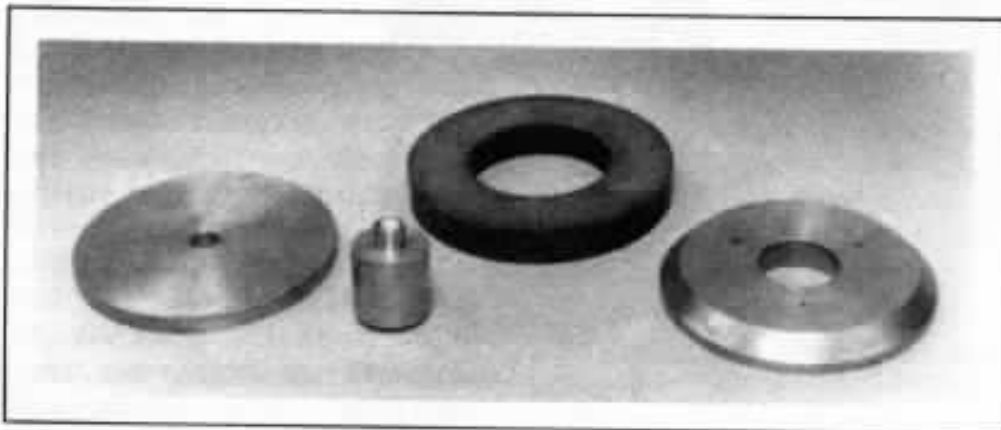


Fig. 7 - Pièces constitutives du circuit magnétique

ferrite ou Ticonal, de dimensions très importantes.

— La tenue en puissance risque d'être très limitée si on ne prévoit pas un diamètre de noyau suffisant, car la hauteur de bobinage étant faible le fil peut avoir un diamètre et une densité de courant admissible trop faible. La résistance devant rester égale à $6,8 \Omega$. De plus, il est nécessaire d'avoir une surface de cuivre très importante pour que le transfert thermique vers les plaques polaires s'effectue au mieux. Plusieurs solutions peuvent être employées pour remédier à cette faible tenue en puissance: un support en aluminium, des colles qui ne fondent qu'à de très hautes températures, un noircissement du cuivre et une phosphatation de la plaque de champ pour un meilleur transfert thermique. Un support aluminium ne peut être utilisé sur les haut-parleurs à membrane bextrene sans qu'il n'ait été isolé de celle-ci par un isolant quelconque, papier, nomex, etc... ce que fait KEF en réalisant des supports à deux composants nomex + aluminium en collant le rouleau d'aluminium sur le bas du rouleau de nomex.

Une réalisation pratique

Il a été décidé de réaliser un haut-parleur de 20 cm de diamètre à membrane bextrene et à suspension souple en PVC, fonctionnant suivant les critères précédents. Le diamètre du noyau a été choisi de 37,5 mm, la hauteur de bobinage 4 mm, la plaque de champ de 16 mm. Le support de la bobine est en aluminium recouvert d'une épaisse couche de papier sur la partie supérieure, au-dessus du bobinage ce qui permet d'isoler la membrane bextrene de la partie du support qui sera portée à la température la plus élevée. De la sorte il est espéré une puissance électrique admissible continue de 45 watts.

Nous avons reporté en figure 9

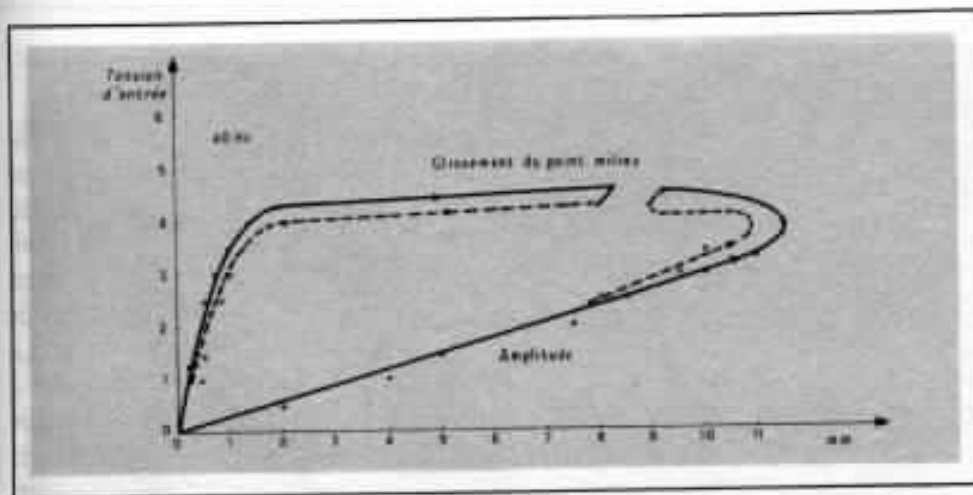


Fig. 8 - Amplitude et glissement du point milieu d'un H.P. de 17 cm à l'air libre dont la hauteur de la plaque du champ est quatre fois supérieure à la hauteur de bobinage.

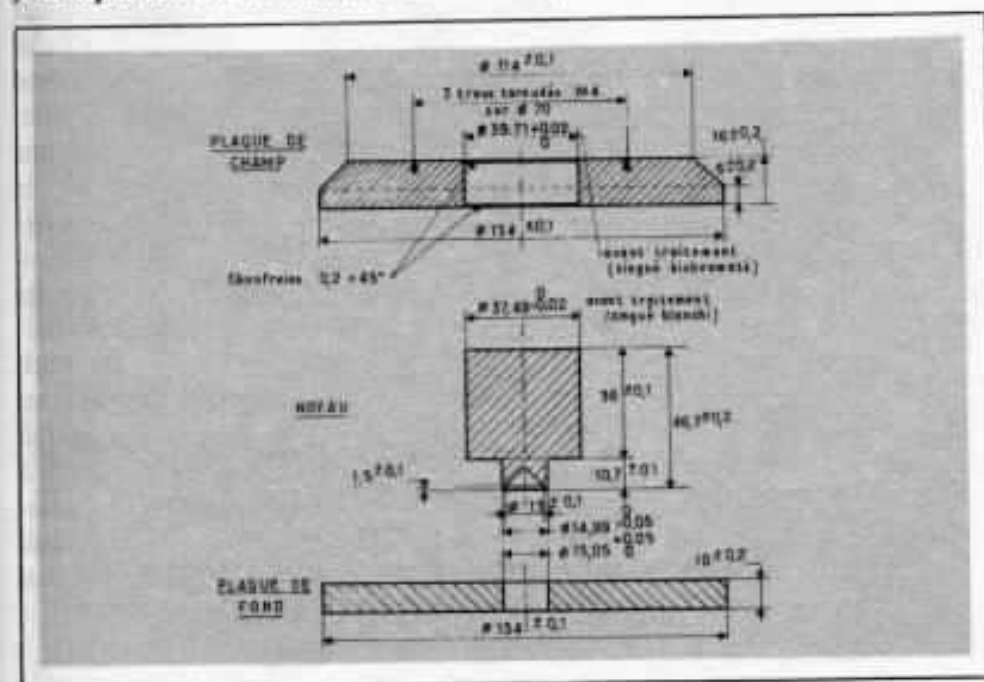


Fig. 9 - Côte des pièces du circuit magnétique



Fig. 10 - Les diverses pièces du haut-parleur

l'ensemble des côtes des pièces métalliques. L'aimant choisi est une bague ferrite d'origine TDK de 140 x 75 x 20 mm. Le saladier en tôle d'acier a été renforcé de plomb de 0,75 mm d'épaisseur dans les régions susceptibles de provoquer des vibrations. Nous aurons l'occasion de reparler de ce haut-parleur et de ses performances ultérieurement.

Conclusion

Les haut-parleurs à bobine mobile d'un dessin conventionnel sont fondamentalement instables en raison de la présence des champs de fuite. Le nombre de tours baignant dans le flux et la force motrice sont à leurs valeurs maximales à la position zéro. Ce qui est gagné à une extrémité de la bobine se mouvant dans les champs forts est plus que perdu à l'autre extrémité.

Dans la région dite à "masse contrôlée" la bobine est déplacée vers les champs faibles et dérive du point zéro, effectue un saut brusque hors du circuit magnétique et une forte distorsion apparaît. Ceci est la cause principale de distorsion dans les haut-parleurs et limite le développement des modèles à faible résonance et à longue bobine.

Inversement une plaque de champ très épaisse et une bobine très courte semblent être la seule solution pour éviter les problèmes cités ci-dessus en dépit du prix, du manque de sensibilité et de la limitation de la tenue en puissance.

Bibliographie :

- D.A. Barlow.
- AES 50 th convention
- Mac Lachlan
- N.W. Loudspeakers OUP 1934
- Harwood H.D.
- "Loudspeakers development"
- Brit. Acoustical Soc. Janv. 1970

**Page non
disponible**

Les chroniques subjectives

1 - Compétence d'écoute

Le rêve de tout audiophile et sa secrète angoisse, n'est-il pas en fait d'être sûr de ce qu'il appelle son "oreille" ? Pour répondre à cette interrogation permanente, il m'a paru intéressant de soulever trois points indispensables pour arriver à une "écoute satisfaisante". Ces trois points sont :

- *Le type de musique et les conditions d'écoute ;*
- *Le "profil" de l'auditeur candidat-audiophile ;*
- *La qualité de son écoute et sa méthodologie.*

Il est évident qu'un tel sujet ne peut être abordé de façon exhaustive dans un tel article, de même que personne au monde ne peut à lui seul faire le tour de la question, comme nous le verrons plus loin.

Le type de musique et les conditions d'écoute

Tout commence, bien sûr, avec la musique. C'est donc par la musique que je devais commencer cet article dont le but est d'essayer de définir les limites respectives de la musique et du son dans l'écoute.

Pour première maxime je vous recommande de ne pas accepter aveuglément l'avis de tel instrumentiste de vos amis. En effet, un

grand artiste, habitué à l'écoute des instruments, peut se concentrer sur la musique et elle seule. La plupart du temps une chaîne de grand prestige lui fera à peu près autant d'effet qu'un poste de radio portable ; car au-delà du son, il retrouvera sa chère musique. Ses critères d'écoute sont en outre très différents de ceux de ses auditeurs. A titre d'exemple, si vous écoutez votre propre voix au magnétophone, vous ne manquerez certainement pas d'être

surpris, cela ne ressemble pas du tout à ce que vous avez l'habitude d'entendre, vos amis eux, vous reconnaitrons.

Faites donc confiance à votre oreille et à aucune autre (ou si peu !).

La première chose à faire est de déterminer quel type de musique vous écoutez habituellement. Du matériel parfaitement satisfaisant pour tous les types de musique est aussi rare qu'un percepteur complaisant. Pour de la musique

moderne et ses écoutes traditionnelles (très forts niveaux permanents, accentuations de certaines fréquences, etc...) le premier critère est le rendement des enceintes, ne serait-ce que pour soulager votre budget consacré à l'amplificateur ; de plus il n'existe pas de reproduction de cette musique sans système électro-acoustique. Donc la recherche doit être guidée essentiellement par le "plaisir" d'écoute, par opposition à la vérité, ou plus exactement à défaut de vérité ; car plaisir et vérité sont, heureusement, quelques fois compatibles, demandez à un amateur de jazz ou de lyrique.

Même en concert, le son est tributaire des enceintes, de l'électronique employée ; la quête audiophile pourra donc s'exercer dans deux domaines : d'une part essayer de recréer un son similaire à celui entendu en concert (avec le même matériel ?), ou alors s'efforcer de maximiser son "plaisir" (et son niveau sonore ?) en étant seul juge du résultat obtenu. Pour ceux qui suivent ce chemin, quelques conseils : choisissez vous-mêmes, car là moins qu'ailleurs, un autre que vous peut décider où est votre plus grand plaisir. Et surtout méfiez-vous des démonstrations éblouissantes - pendant dix minutes ! - De façon générale, car j'y reviendrai plus loin, orientez-vous vers un rendement maximum sans vous soucier du tout de dynamique ou de linéarité (si le niveau d'écoute moyen est de 100 dB, à quoi vous

serviront 40 dB de dynamique, de même l'absence de coloration a-t-elle vraiment un sens pour de la musique électronique ?).

Pour tous les types de musique où la référence "naturelle" existe, la situation est toute autre, mais guère plus simple :

— il est impossible de déterminer le son d'un instrument de façon absolue. Tout au plus peut-on cerner le problème : salle petite ou grande, plein air, écoute à telle distance de l'instrument, facture de l'instrument (un piano de jazz n'a jamais sonné comme un Bösendorfer Impérial) ;

— même si cette référence absolue existait, rares sont ceux qui bénéficient d'une salle avoisinant une salle de concert ou une cave voutée pour l'écoute domestique.

Partant de cette impossibilité de reconstituer une écoute "absolue", il faut essayer de déterminer, chacun pour son propre cas, les paramètres essentiels qui font qu'une reconstitution même piètre procure un plaisir similaire. Ces paramètres font ce que j'appelle le "profil" de l'auditeur.

Le "profil" de l'auditeur candidat-audiophile

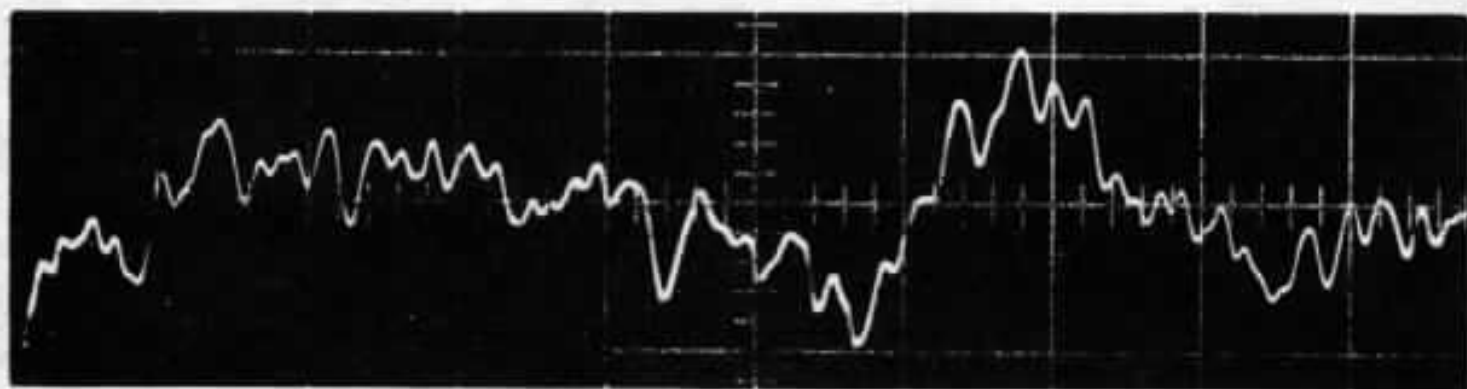
C'est là le premier point crucial pour définir une écoute correcte. Chaque auditeur diffère. Des facteurs identiques pourront soit le séduire, soit l'irriter.

Pour essayer de transmettre ou

de recevoir des informations sur la qualité d'un produit, d'une écoute, il faut donc connaître le "profil" de celui qui émet le jugement, ainsi, bien sûr, que celui de l'audiophile qui veut profiter de cette expérience du produit.

Et c'est tout l'avantage d'un magazine comme "Absolute Sound" sur la quasi-totalité de ses concurrents mondiaux, de disposer non seulement d'une équipe compétente, mais surtout de systématiquement soumettre un produit à l'essai de plusieurs de ses rédacteurs. Les lecteurs connaissent en détail non seulement les autres composants de système (amplis, cellules, etc...) mais aussi les goûts musicaux (liste de disques d'essai fournie) ainsi que les conditions d'écoute, pièce, niveau sonore, etc., et surtout le jugement sur les grandes options ouvertes aux audiophiles selon leur goûts : choix de la dynamique ou de la résolution, de la beauté du timbre, de la quantité de détails (ah ces fameux petits signaux !) de l'ambiance, de l'espace sonore, etc...

Si au lieu d'essayer de prêcher la vérité absolue (cher Audio Critic !) un banc d'essai commençait par la description précise de la salle, du système associé, des sources employées et de la "personnalité" musicale des auteurs de l'article, alors les lecteurs pourraient tirer des enseignements précis et utilisables. Pour être plus précis, dire d'un ampli qu'il a un son "ouvert" est louable, et tellement



Oscillogramme du son d'une tymbale

plus avancé que l'appréciation d'il y a quelques années où l'on donnait des commentaires du type «son plutôt dur» ou «appartient à la famille des amplis doux et musicaux»; mais un commentaire utile et précis serait : «son ouvert dans le registre grave, très apprécié pour sa chaleur dans cette partie du spectre par les amateurs de jazz de notre panel qui préfèrent des pizzicati de contrebasse très présents et «vivants». A reprocher quand même pour d'autres (ici le lecteur habitué reconnaîtra les membres du panel fanatiques de lyrique) cette même chaleur qui étoffe les voix de basse plus que nécessaire et a tendance à avancer un peu ces voix sur la scène. Les amateurs de basses hyper-sèches ont trouvé le résultat beau sur le plan timbre mais inférieur à leurs références actuelles. En résumé : bas de spectre pas neutre, à utiliser en connaissance de cause. Note technique : supporte bien les charges dynamiques complexes, mais électrostatiques déconseillées».

Face à un banc d'essai de ce type, mais étendu à toutes les caractéristiques de l'ampli et pas seulement au grave, les audiophiles amateurs de lyrique, de rock, de basses «chaleureuses», etc. sauraient à quoi s'attendre.

Bien entendu, il est illusoire de s'attendre à trouver des bancs d'essai aussi complets : le temps passé est considérable et incompatible avec des parutions régulières (voir toutes les revues under-

ground américaines). De surcoût ils demandent un grand nombre de collaborateurs. Un panel correct nécessite au moins 6 et plutôt 8 membres, à titre indicatif, plus de 60 contribuent aux écoutes d'Absolute Sound.

Un audiophile doit donc s'efforcer de tracer son propre «profil», de connaître dans les détails les caractéristiques qui le séduiront ou l'énervent. Un portrait, aussi imaginaire que celui de l'ampli cité plus haut pourrait ressembler à ceci : Auditeur de musique classique, surtout symphonique, un peu de jazz. Niveau élevé (90-100 dB en crête). Grande pièce amortie (180 m³). Ecoutes souvent de longue durée. Sensibilité malade au timbre et à la couleur, au point de reconnaître un trompettiste ou un orchestre à cette seule caractéristique. Préfère les teintes douces («son anglais») et les médiums un peu reculés. Aime les images sonores plus précises que nécessairement larges, mais avec beaucoup d'ambiance de salle. Peu fanatique de dynamique, jugée incompatible avec les niveaux moyens de près de 80 dB. Peu sensible aux extrémités de spectre, ou plus exactement préfère tant en haut qu'en bas un léger manque à toute agressivité. Grand amateur de petits détails, d'arrière-plans (petite harmonie).

Une description de cet ordre permet de connaître à l'avance les opinions de cet audiophile sur tel ou tel matériel, donc de le conseil-

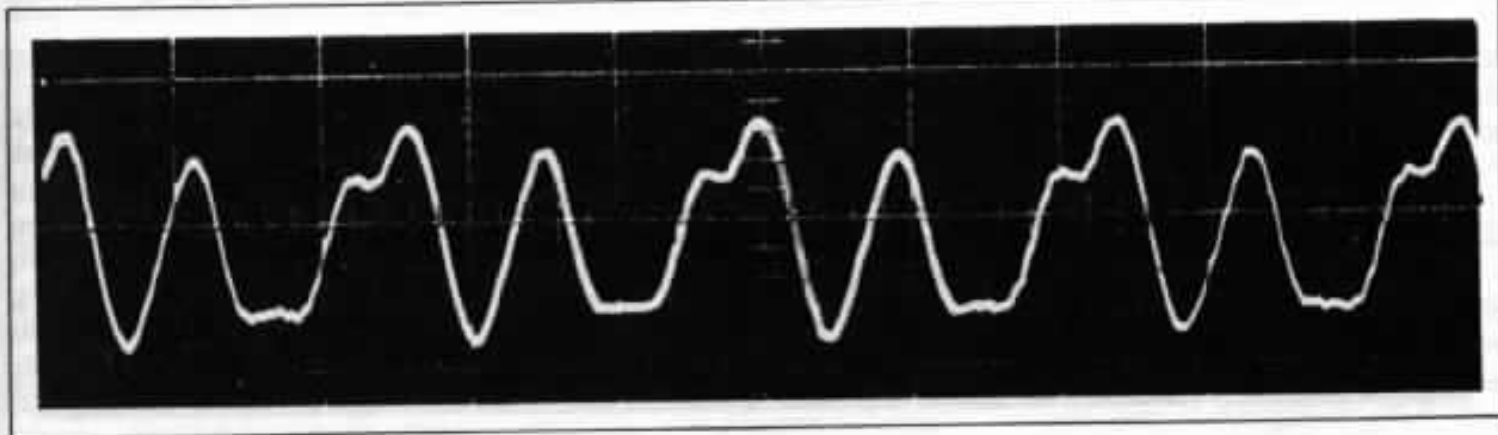
ler utilement en cas d'éventuelle acquisition, ou au contraire de pouvoir utiliser judicieusement tel ou tel de ses avis. Avec de tels goûts on peut lui attribuer par exemple le système suivant (s'il a choisi sans contraintes financières, question ô combien importante vu le prix du matériel audiophile) :

Une platine et un bras très raffinés (rigides et non-résonnants, pour donner les petits détails) une cellule à aimant mobile ou induit et à taille de diamant très raffinée (une bobine mobile serait plus présente en aigu et en grave, le beau diamant fournira une image précise et profonde), le préampli et l'ampli seront doux, les plus doux en provenance des USA, ou anglais, ampli de puissance élevée + de 120 W par canal supportant bien les charges complexes et acceptant les fortes puissances pendant longtemps, de préférence écrêtant avec douceur, enfin les enceintes pourraient être des anglaises de fort gabarit, au timbre doux et choisies parmi les réalisations récentes pour encaisser beaucoup plus de puissance que ses devancières.

Mais pour en arriver là, l'audiophile en question doit encore être en mesure de mettre ces différentes caractéristiques, donc d'avoir une écoute raffinée.

La qualité de l'écoute et sa méthodologie

Quand on observe l'écoute de



Oscillogramme d'une note soutenue de clarinette

quelques grands professionnels légendaires, vieux routiers de métier travaillant le plus souvent exclusivement à l'oreille (pour les enceintes ce sont encore vraisemblablement eux qui ont raison tant la science balbutie, ou mieux hoquette), une constatation s'impose, chacun d'entre eux a une écoute très particulière, très personnelle souvent déroutante : ils s'intéressent en effet à un nombre limité de caractéristiques. Parfois même une seule. Ils la perçoivent en dépit de toutes autres composantes, même mauvaise au point de gêner beaucoup moins expert qu'eux.

Un tel sera fanatique de la quantité de détails, tel autre ne jurera que par la dynamique, etc...

C'est donc très modestement que je m'efforcerais de noter quelques uns des "trucs" qui permettent de mettre ces critères en évidence, tout en étant bien conscient de n'avoir jamais approché un auditeur dont l'écoute englobe tous ces paramètres différents,

Pour mettre en relief la dynamique, c'est-à-dire le plus grand écart entre pianissimo et fortissimo mesuré en décibels, le meilleur outil est de loin la voix humaine. Et rien ne vaut alors l'envolée puissante d'une soprano en forme. Se méfier cependant de la "fausse dynamique" provenant d'un extrême aigu (ou grave) relevé. A ce moment-là, la voix subira des modifications non naturelles dans le placement ou la couleur.

De façon plus générale, on peut dire que le système le plus dynamique est celui qui fera percevoir le plus de détails dans les fortes.

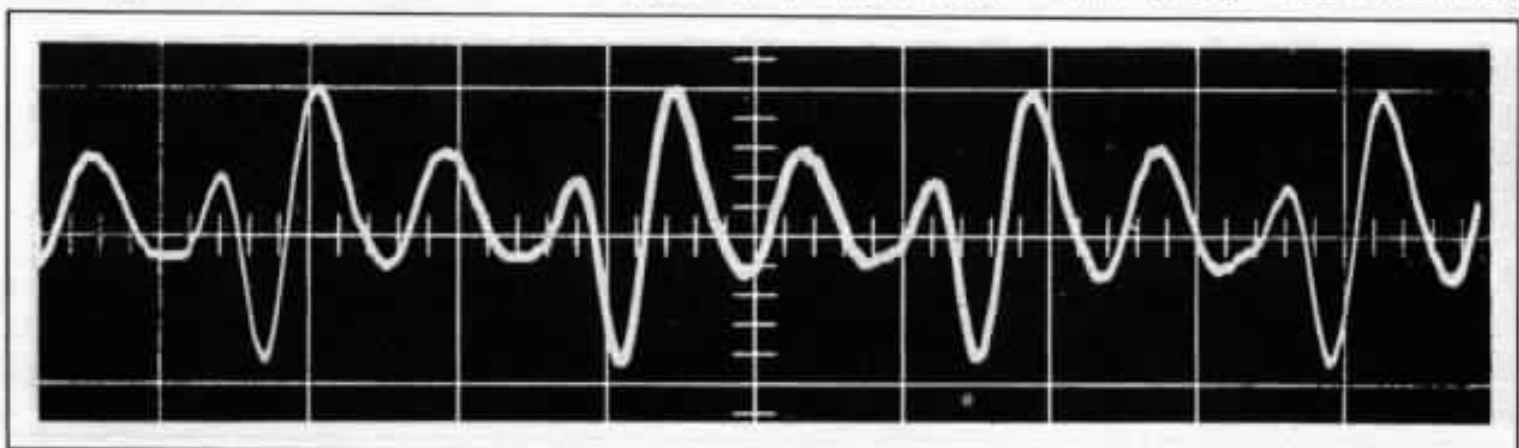
Il faut se méfier également des différences existant entre dynamique sur un instrument seul et sur un groupe : certains systèmes peu résolus (séparant peu les différents messages musicaux entre eux) peuvent sembler dynamiques sur un solo. Une bonne précaution à prendre : écouter ce même instrument en solo puis après l'entrée en jeu d'autres instruments (solo de jazz dans un quintet, chanteur avec reprise orchestrale, etc...).

Si au passage votre soliste perd de sa netteté et de son incisivité, vous avez un problème de dynamique globale, si en plus l'instrument change de couleur votre système (ou votre source) intermodule, si enfin le soliste change trop de place vous avez un problème de phase. A noter : la dynamique maximum s'accompagne souvent d'énormément de détails et un composant dynamique paraît toujours plus "sec", moins "doux" qu'un autre plus "tassé" sur ce plan. Pour arriver au bon résultat, tous les composants sont à surveiller. Certaines installations déjà excellentes deviennent franchement éblouissantes grâce à des détails en apparence anodins. Les câbles par exemple font beaucoup pour "gratter" un peu plus de dynamique et de détail.

Un autre paramètre que certains apprécient par-dessus tout

est l'espace sonore, ou "aération". Il faut d'abord éviter de se faire piéger par les systèmes qui "truquent" dans ce domaine, car ils sont nombreux (amplis à lampes, enceintes à "creux" dans le médium, etc.). La façon de faire consiste à mesurer l'écart entre les deux extrêmes que peut "passer" un composant. Je m'explique : prenez un disque à prise de son multimicros ayant une image très "en avant", et un disque d'église, de préférence pris en tête artificielle, avec beaucoup de profondeur, de réverbération. Le composant le plus juste sur le plan spatial sera celui avec lequel l'espace entre le plus "en avant" et le plus "en arrière" sera le plus vaste. S'il recule ou avance indifféremment tous les messages, rejetez-le, ou plutôt ne le prenez qu'en connaissance de cause, car pourquoi le plaisir ne serait-il pas préférable à la réalité...?

Enfin certains privilégient la "finesse", ou "définition", ou "résolution". Pour cela munissez-vous de sources très complexes (très grandes formations) et écoutez en comptant le nombre d'instruments ou de groupe d'instruments que vous entendez. Certains systèmes vous révéleront la splendeur d'arrière-plans gommés sur d'autres. Efforcez-vous de suivre les instruments lointains, d'essayer de les situer ; pour ce qui est de la "résolution" des différents groupes instrumentaux entre eux, certains composants (rares) vous donneront



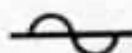
Oscillogramme d'une note soutenue de trompette

l'impression d'une diminution de bruit de fond (à niveau et à courbe de réponse égaux bien entendu), tellement les instruments seront mieux détachés ; certains pupitres du fond de l'orchestre couvriront un instant par un forte les cordes, ou le batteur se lancera dans deux ou trois mesures brillantes qui sans pour autant déranger l'image sonore éclaireront le fond de la scène. Parvenu à ce point, c'est le signe combiné de résolution, de dynamique et d'espace. Ce n'est pas nécessairement la marque des très grands systèmes, mais c'est celle des systèmes très raffinés. Laissez-vous séduire, le cas est rare, et la sensation inoubliable.

Après ces délices, un peu d'huile de ricin : la méthodologie. Pour que les comparaisons soient honnêtes il faut soigner énormément de paramètres, et se garder de prononcer des jugements trop définitifs. Pensez d'abord à égaliser soigneusement les niveaux (au sonomètre !), à vérifier les compatibilités entre composants (50% des préamplis et des amplis du commerce ne vont pas ensemble. Vérifiez aussi les impédances, chargez correctement votre cellule avec une petite capacité adaptée à votre préampli, sinon votre belle comparaison de préamplis aura surtout servi à savoir si votre cellule est mieux adaptée électriquement à l'un

qu'à l'autre. Réglez à fond votre cellule, l'overhang, l'azimut, et la hauteur de bras, positionnez rigoureusement vos enceintes pour l'écoute et non pour l'apparence la plus flatteuse (je sais ce qu'il en coûte, je le fais). Mais vous savez déjà tout cela, lecteurs fidèles de l'Audiophile, brevetés es-Hiraga et vaccinés Amadeus. Peut-être vous arrivera-t-il alors d'arriver à des résultats qui, je vous le souhaite vous procureront un plaisir sans rapport avec leur coût, cela arrive, et l'estime respectueuse de vos collègues audiophiles.

Un audiophile



2 - Subjectivité - Objectivité dans la perception sonore

La reproduction sonore à haute fidélité est une tentative de perfection. Le but à atteindre étant l'identité absolue avec le signal sonore. Cette identité est-il possible de l'atteindre ? Beaucoup d'éléments incitent à penser que ce n'est pas possible...

L'écoute dans une pièce de taille moyenne amène un certain nombre de contraintes. La dynamique est limitée vers les grosses puissances par saturation de la pièce. L'extrême-grave est tronqué et sa perception n'est pas entièrement naturelle car la longueur d'onde sonore tend à rejoindre et même à dépasser la plus grande dimension de la pièce. D'autre part ces petites dimensions font qu'il est impossible de

placer le haut-parleur à une distance suffisante pour que les premières réflexions sonores sur le plancher, le plafond et les murs arrivent avec un retard supérieur à 10 millisecondes (cf. L'Audiophile n° 5, p. 63, § 3). Il en résulte une diminution de l'intelligibilité du son.

Il y a d'autres paramètres, peut-être plus délicats à cerner.

Le manque de recul par rapport au haut-parleur fait que l'on

perçoit des ondes ayant une surface courbe alors que lors du direct, quand le recul est plus grand, la forme des ondes tend à être plane.

Le champ de réverbération de la pièce d'écoute s'additionne à celui de la salle ayant servi à la prise de son ; cette sommation rend impossible la perception d'un espace sonore complètement homogène. On pourrait objecter que l'amortissement de la pièce

d'écoute diminuerait beaucoup ce phénomène. Malheureusement il n'est pas agréable d'écouter dans une pièce trop absorbante, on y éprouve une sensation d'étouffement et ce malaise physiologique nuit à toute tentative de naturel. Il ne faudrait pas voir dans ce préambule une tentative de négation de l'utilité de la Haute-Fidélité, mais une volonté de cerner les obstacles sur lesquels elle vient buter.

La qualité fondamentale du son en direct est le naturel. Il est de bon ton de dire qu'au concert toutes les places ne sont pas bonnes ou que certaines salles sont excécrables. Il n'en demeure pas moins qu'un violoniste ou un chanteur reste parfaitement identifiable quel que soit l'environnement acoustique. Le son direct présente une caractéristique particulière : c'est que le générateur sonore est parfait. Si nous prenons l'exemple d'un violon nous constatons que ce générateur sonore donne des informations qui sont liées à sa surface et à sa directivité. C'est un objet indiscutable, il n'a d'un point de vue sonore ni qualité, ni défaut. Il est.

Une des grandes, pour ne pas dire la plus grande, difficulté de la reproduction d'un objet sonore est de ne pas le déstructurer. C'est à la prise de son de prendre ce problème en considération. Il est indispensable lors de l'enregistrement de garder la cohérence de la source sonore, par exemple si l'on enregistre au moyen d'une

méthode homogène (couple de micros ou tête artificielle) un piano de trop près comme cela est très souvent le cas, le son en sera modifié. Les basses seront atténuées par rapport aux aigus, l'attaque des marteaux sera hypertrophiée par rapport aux résonances de la corde et de la caisse (sommier). D'autre part l'image sonore tendra à se scinder en deux parties et l'instrument deviendra "désespérément long".

Si ce genre de source sonore est reproduit par une chaîne médiocre à définition faible elle sera plus agréable, plus faussement "naturelle" que si elle est reproduite par une chaîne beaucoup plus définie, c'est bien en cela que l'écoute est subjective et cette subjectivité n'est pas en rapport direct avec la musique, elle est due à une incapacité de faire la part des choses. Lorsque l'on compare des chaînes avec une modulation qui sert de référence, il est difficile de penser que, celle qui semble la meilleure, peut être la plus douteuse quand la prise de son est faite différemment. Si le preneur de son fait bien son travail, c'est avec ses propres appareils de contrôle que l'écoute sera la meilleure.

Cette subjectivité directement liée à la technique, et qui est trompeuse peut être combattue par la musique. En effet, s'il est agréable d'écouter un son qui ne dérange pas, pour le mélomane il est beaucoup plus important d'entendre la musique. Quitte à

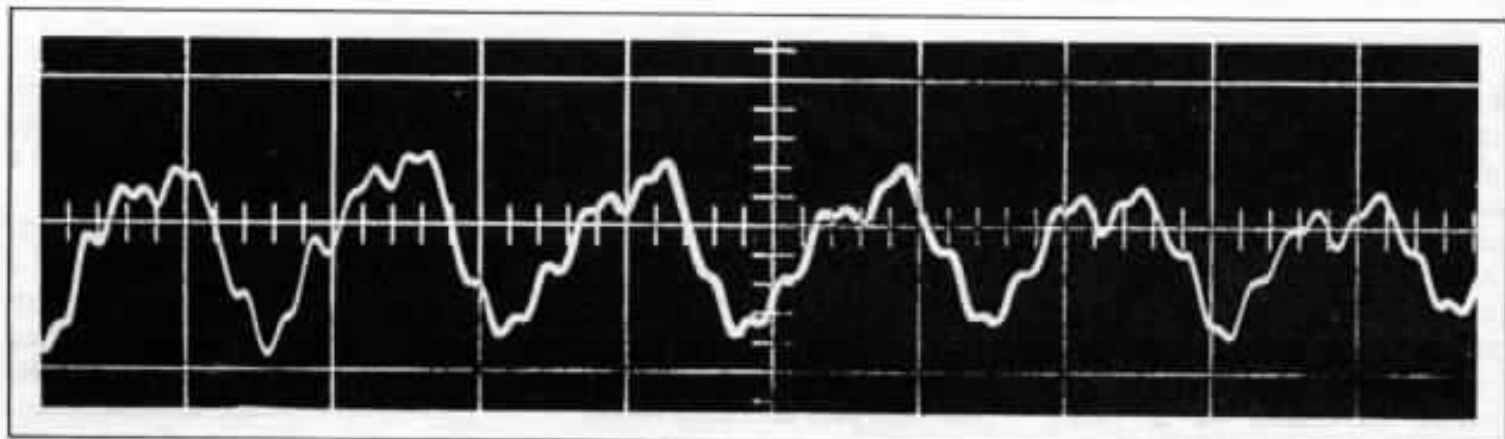
supporter quelques distorsions, il est indispensable de restituer correctement la dynamique ; c'est-à-dire la subtile progression d'intensité qui va des sons les plus faibles, jusqu'aux sons les plus intenses. Ce respect de la dynamique n'est pas destiné uniquement à créer des "fortes" fracassants mais à rendre perceptible les nuances musicales et sonores : le vibrato du violon ou de la voix et surtout les subtiles inflexions du phrasé qui est la respiration même de la musique.

Un ensemble reproducteur peut sembler du premier abord plus agréable et lors d'une écoute prolongée donner l'impression d'une couleur pâlotte et qui tend à être toujours la même.

Par contre un autre ensemble peut avoir une sonorité plus ingrate et faire en contrepartie découvrir des nuances musicales plus nombreuses ; mieux faire sentir lorsque les cordes jouent "legato" ou détachées, mieux faire sentir la respiration du chanteur. Il est difficile de penser que cet ensemble est inférieur car il "fait" plus de musique, il est donc probable qu'une prise de son plus équilibrée lui rendrait mieux justice.

A partir de là, il est facile de comprendre que le jugement de l'amateur de son et de l'amateur de musique puissent différer.

Le premier recherchera une certaine pureté sonore : bruits de fond réduits, absence de distorsion, sonorité feutrée, espace so-



Oscillogramme d'une note soutenue de violon (Doc. Life Science Library)

nore hypertrophié.

Le second voudra d'abord entendre toutes les notes, tous les accents, le phrasé, afin que l'intérêt musical soit soutenu. Pour lui la chaîne ne sera jamais meilleure si elle "fait" moins de musique.

Il semble utile de développer ce point de vue car j'ai souvent constaté chez les audiophiles que l'intérêt allait dans des directions curieuses. Les sources de références étaient souvent des gravures directes 33 ou 45 tours, enregistré en gros plan, avec un contenu musical souvent moyen et qui semblaient mieux adaptées aux reproducteurs sonores ayant un rayonnement diffus. BEVERIDGE, HQD MARK LEVINSON, MAGNEPLANAR... qu'à des reproducteurs classiques utilisant des haut-parleurs bien définis SAMPAN LOURD 311 CABASSE, ELIPSON O.R.T.F., ONKEN avec comme moyen terme les ALLISON ONE.

Plutôt que d'utiliser des haut-parleurs produisant un champ sonore indirect très important dans le lieu d'écoute. Il serait beaucoup plus intéressant d'utiliser au maximum les possibilités qu'a le preneur de son d'intégrer les informations spatiales dans la modulation lors de l'enregistrement. Cela mériterait un article à part, mais disons rapidement qu'il est possible de jouer sur le lieu d'enregistrement en usant judicieusement de son temps de réverbération, de la position des micros et de l'emplacement des instruments qui doit être modifié par rapport à leur situation au concert, par exemple, au lieu d'ajouter un micro de présence il peut être intéressant de surhausser un instrumentiste sur une petite estrade.

Pour un reproducteur sonore, il est donc ridicule d'opposer la définition du son au naturel, une des raisons de l'infériorité du son reproduit par rapport à celui du

direct est le manque d'informations, il est important d'utiliser des systèmes très définis et aussi peu colorés que possible, un système qui serait totalement défini, c'est-à-dire parfait en rendu transitoire, ne présenterait pas de coloration.

A propos de coloration et de dureté, les Américains disent qu'un ampli ou un haut-parleur a du "grain". Souvent ce "grain" provient d'une prise de son trop rapprochée qui sollicite au maximum la coloration du micro et le fait distordre. D'un point de vue pratique il sera intéressant de se rendre compte par l'écoute quels sont les produits qui vont dans cette direction et qui essayent de reproduire ce son défini sans contrepartie désagréable, ceci sera l'objet d'un autre article...

Un audiophile

**Page non
disponible**

L'approche du subjectif

A la recherche d'une technique adaptée au récepteur humain

G. Altieri

Dans notre étude précédente nous avons centré notre attention sur les propriétés psychophysiologiques de la perception acoustique. Nous avons considéré que la réussite complète d'une reproduction électroacoustique passe par la création d'un espace sonore contemplant les innombrables paramètres qui définissent les caractéristiques d'une image sonore dans le cerveau humain. Nous concluons qu'il nous faut une connaissance approfondie des propriétés de l'audition et de la perception acoustique pour pouvoir placer artificiellement un auditeur dans l'ambiance sonore propre à un endroit éloigné dans le temps et dans l'espace. Il est nécessaire donc de systématiser les données subjectives. Ce processus entraîne forcément une schématisation du phénomène biologique, qui permettra, cependant, au risque de négliger une partie de l'ensemble perceptif, la conception de systèmes technologiques capables de se rapprocher des conditions d'écoute naturelles.

Notre but est donc de fabriquer des appareils capables de tenir compte de toute une série de conditions physiques que l'auditeur interprète comme une reproduction sonore "fidèle".

On n'insiste jamais de trop, alors, sur le fait que les performances de ces appareils doivent respecter les propriétés de la com-

munication acoustique chez l'homme. Ceci se traduit par la transmission de l'information nécessaire à la recréation d'un espace sonore dans le cerveau de l'auditeur. Bien entendu le problème présente de multiples faces, parce que la transmission de l'information dans des conditions optimales, constitue un aspect nécessaire

mais non suffisant. En fait, nous avons également besoin au départ, d'avoir capté toute l'information qui sera, éventuellement bien reproduite.

Le processus peut être représenté sous forme graphique; regardons donc, notre figure N° 1.

Malgré tout, ce raisonnement est beaucoup trop simpliste, en

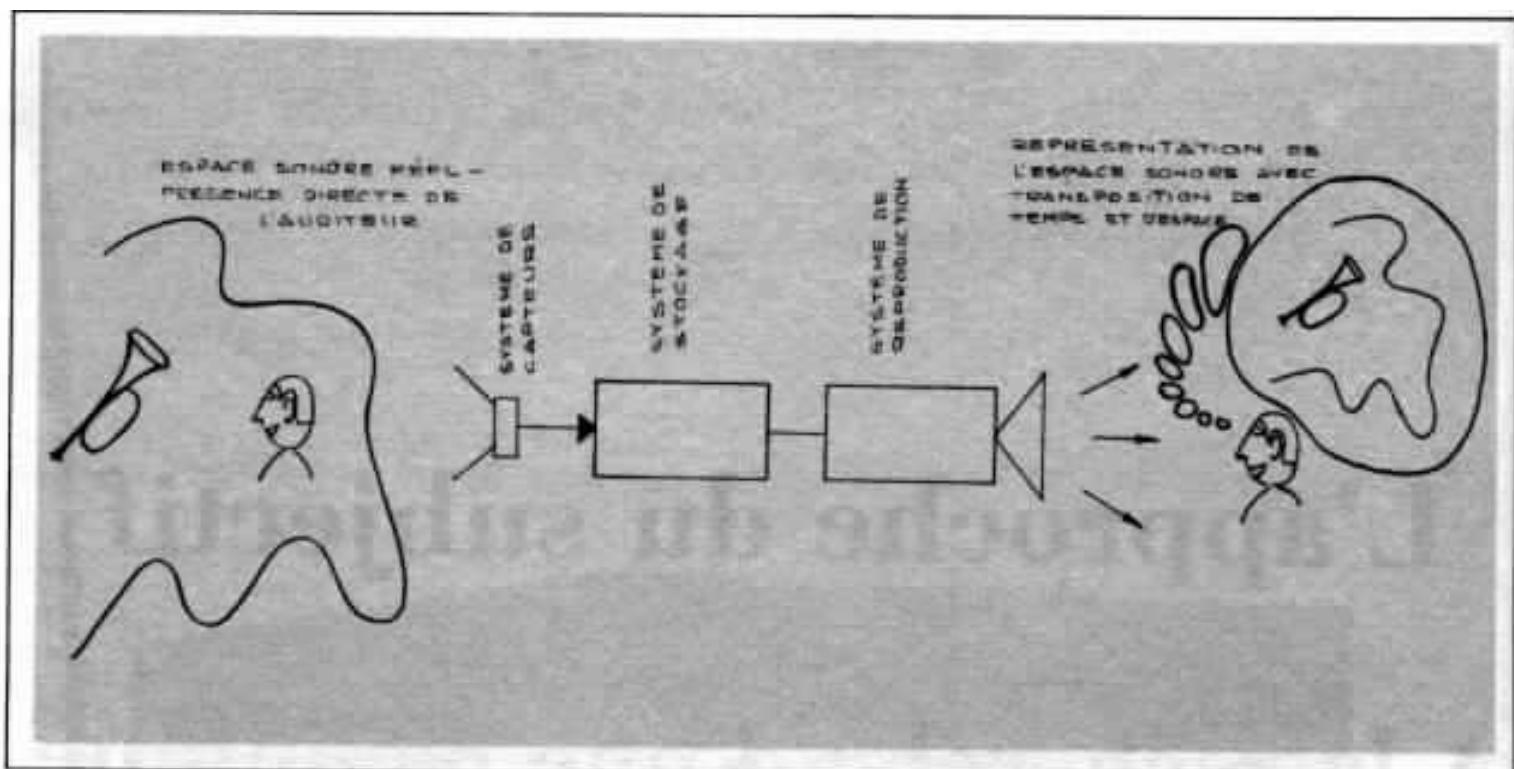


Fig. 1 - L'information définissant un espace sonore doit être captée stockée et reproduite en respectant les conditions exigées par la perception humaine.

effet, en fonction de quoi choisissons-nous l'information destinée à être reproduite ? Sur quels paramètres repose la formation d'une image sonore qui ressemble à une autre image acquise ailleurs ?

Il est évident que cet ensemble de données n'est pas tout à fait contenu dans le chiffage de la bande passante, le taux de distorsion harmonique ou le rapport signal sur bruit des différents maillons d'une chaîne de restitution. La preuve en est qu'actuellement n'importe quel fabricant sérieux peut montrer sur des notices publicitaires les performances étonnantes de ses produits électroacoustiques. Cependant nous constatons souvent que deux amplificateurs qui donnent dans le banc d'essai les mêmes résultats physiques, démontrent lors de l'écoute des différences très appréciables. Peut-être les tendances des constructeurs, la maîtrise d'une certaine partie de la technologie... et les considérations commerciales ont-elles entraîné la conception de matériel de haute

fidélité dans le même esprit que la production de matériel de mesure.

C'est ainsi qu'on a poussé la réalisation de circuits et systèmes dans une optique strictement physique de la reproduction d'un signal. Tout en "oubliant" qu'au bout de la chaîne, on ne trouve pas une table trépanée ou un enregistreur numérique, mais un être humain qui attend assis dans son fauteuil, une œuvre musicale qu'il ne regarderait pas sous forme de spectre de fréquences évolutif ou succession de transitoires sur un support plus ou moins stable.

Malgré les difficultés qui découlent de ces faits incontestables, les chercheurs ne restent pas inactifs, et une nouvelle vision des performances objectives s'ouvre face à la haute fidélité actuelle. Un exemple révélateur nous est fourni par les résultats obtenus par M. Ojala en Finlande, à propos de ses recherches dans le domaine de la distorsion introduite par certaines astuces électroni-

ques qui ont été conçues pour aboutir à des performances physiques meilleures !.. (Nous faisons référence au taux de contre-réaction, mais nous conseillons la lecture directe des travaux d'Ojala sur ce sujet). Cette distorsion, appelée d'intermodulation transitoire affecte la forme des signaux impulsifs ; en même temps nos recherches dans le champ de la perception acoustique nous expliquent que l'oreille est particulièrement sensible aux phénomènes transitoires. Plus précisément, l'oreille est en fait, un récepteur de transitoires !

Cette inadaptation des appareils considérés comme pratiquement parfaits aux "points préférés" de l'écoute met en évidence un divorce entre l'information que notre système nerveux traite et la capacité des appareils à fournir l'information désirée. Un re-mariage s'impose, analysons donc nos moyens. Commençons notre marche vers la vérité par une voie d'étude de l'espace sonore en partant des considérations sub-

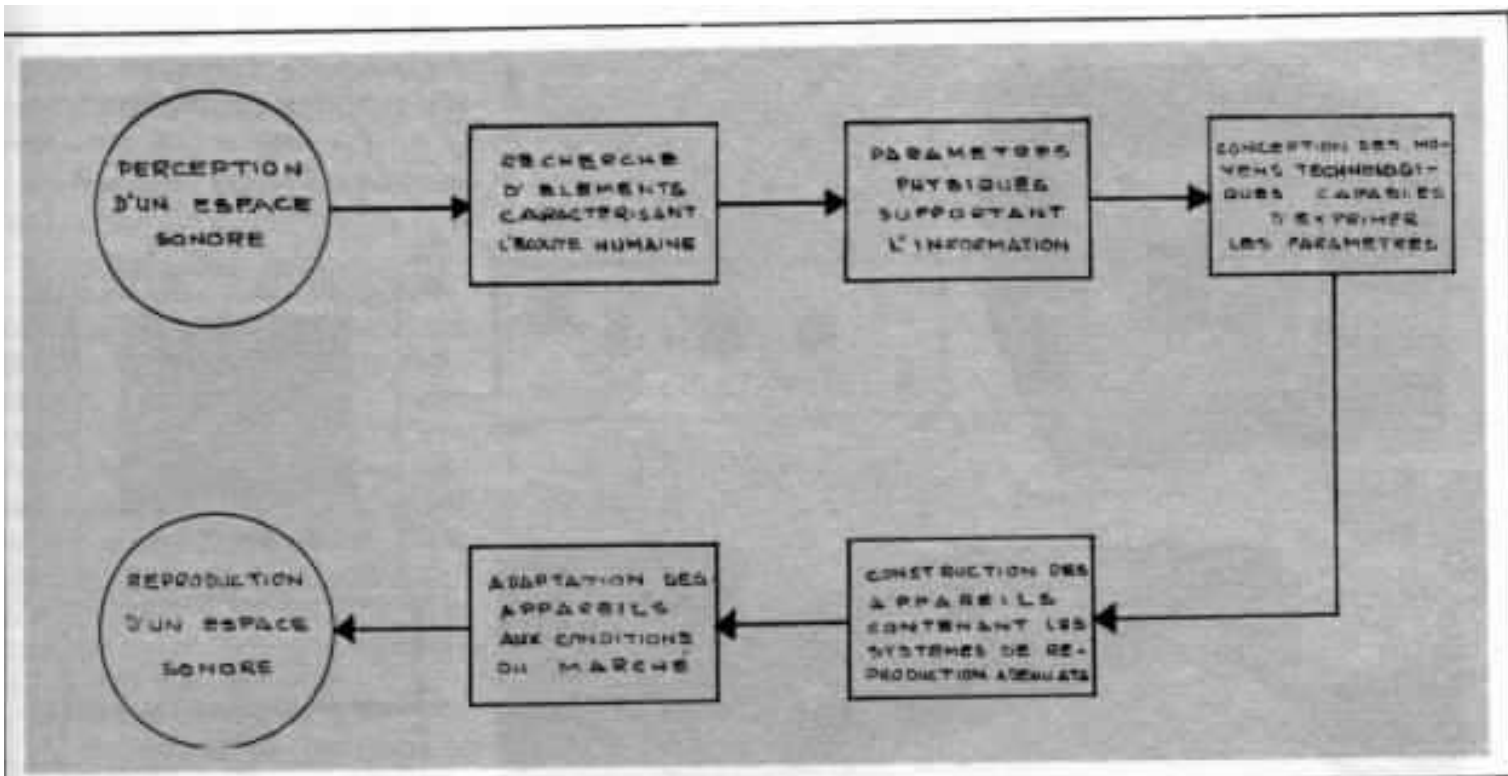


Fig. 2 - Les deux premiers blocs appartiennent au domaine de la recherche fondamentale, le troisième au développement technologique, les deux derniers font partie du terrain industriel. Ce dernier aspect rend parfois impraticables les réalisations de laboratoire. Soyons donc conscient que ce qui existe sur le marché ne représente pas forcément l'état actuel de nos connaissances.

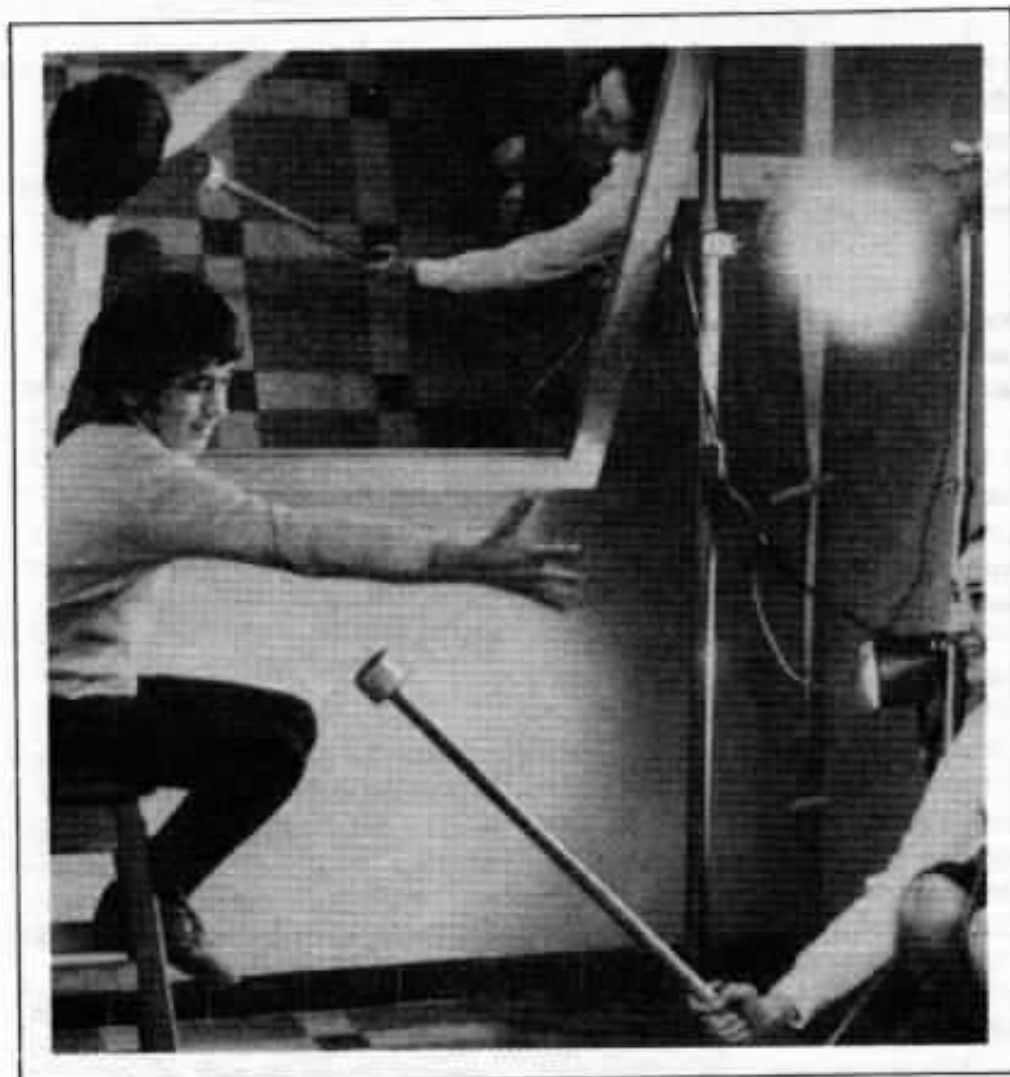


Fig. 3 - «L'espace sonore d'aveugles de naissance est exploré à l'aide d'une cible sonore fixe ou mobile, placée à l'extrémité de la perche tendue par l'expérimentateur, que le sujet s'efforce d'atteindre. Cet espace reste très imparfaitement repéré par rapport au corps».
 Document de l'Institut de Neurophysiologie et Psychophysiologie CNRS, Marseille.



Fig. 4 - A. Analyseur basé sur le système de transformée Rapide de Fourier ;
 B. Distortiomètre ;
 C. Analyseur à bande étroite en temps réel ;
 D. Traceur de courbes.

Ces appareils ne donnent que des renseignements très limités à propos d'un champ sonore perçu par notre système auditif.

jectives suivies d'une interprétation fonctionnelle en faisant appel à l'outil mathématique.

Rapport entre l'appréciation subjective des échos et son interprétation physique.

Si les travaux de chercheurs comme Haas, Meyer et Schodder, Lochner et Burger - entre autres - portent sur les aspects subjectifs de la présence d'échos durant l'écoute de sons complexes (musique) ; d'autres recherches ont été achevées dans le but d'objectiver les conditions d'écoute dans des situations analogues. C'est ainsi que l'inter-corrélation entre les signaux arrivant aux deux oreilles est employée par Keet pour l'évaluation de l'effet spatial.

A ce niveau de notre discussion il semble prudent d'ajouter une brève explication de ce procédé mathématique que l'on trouve as-

sez fréquemment dans la résolution des problèmes de traitement du signal

Corrélation, inter-corrélation, autocorrélation

La corrélation représente une technique de travail mathématique qui nous permet la description de certains comportements aléatoires des signaux dans le domaine du *temps*. Elle constitue donc une source de renseignements différente de celle qui tient compte des domaines de l'*amplitude* ou de la *fréquence*.

Dans les cas les plus courants, la corrélation est utilisée pour détecter des périodicités cachées dans un signal ou bien pour exprimer quantitativement le niveau d'interdépendance entre deux signaux.

Si l'inter-corrélation mesure le degré de ressemblance entre un premier signal donné et un deu-

xième décalé dans le temps, l'autocorrélation mesure la ressemblance entre un signal et sa propre version après un certain intervalle de temps.

Sans rentrer dans des considérations profondes déterminant les limites d'application de cet instrument mathématique d'analyse nous trouvons de multiples exemples de son utilisation :

- Détermination des conditions de propagation et vitesse d'ondes acoustiques, aussi bien que de vibrations mécaniques ou ondes sismiques.

- Détection des signaux périodiques noyés dans un bruit.

- Analyse de la réponse impulsionnelle, et en général des caractéristiques dynamiques, des systèmes linéaires.

Il existe également des applications précises dans le domaine biologique :

— Indication de troubles épileptiques à travers la comparaison des électroencéphalogrammes des deux lobes du cerveau.

— Analyse des phénomènes liés à la maladie de Parkinson.

Bien sûr dans toute explication mathématique, il existe un type de formulation qui obéit aux normes du langage spécialisé. Nous vous proposons de considérer ces expressions, qui revêtent un certain aspect hermétique, du point de vue purement culturel, sans souci d'interprétation détaillée. L'idée globale a été montrée plus haut, voici son expression usuelle :

La fonction d'autocorrélation est définie par :

$$R_f(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f(t) f(t+\tau) dt$$

τ : représente le décalage de temps.

$2T$: est l'intervalle d'intégration

$f(t)$: est la fonction de temps analysée

La fonction d'intercorrélation, pour sa part est :

$$R_{fg}(\tau) = \lim_{2T} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f(t) \cdot g(t+\tau) dt$$

Ici, $f(t)$ et $g(t)$ sont deux fonctions différentes. Elles expriment des signaux en fonction du temps.

Pour mettre en pratique cette méthode de travail, les laboratoires sont équipés d'ordinateurs ou de corrélateurs, appareils spécialisés dans le traitement des signaux selon la technique étudiée.

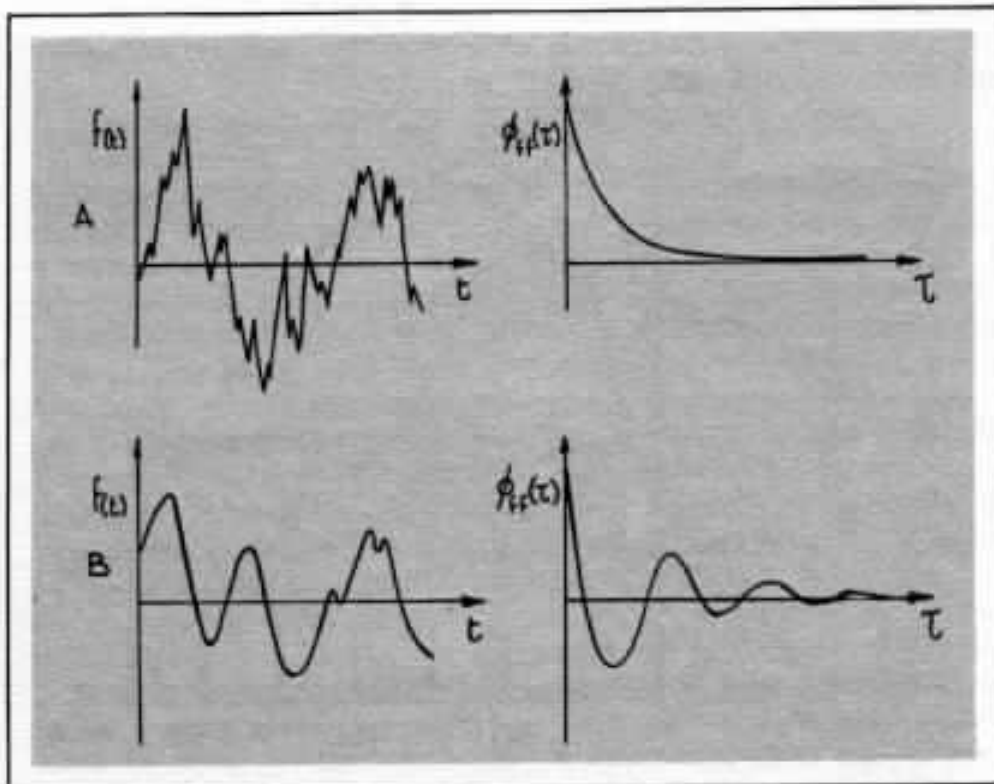


Fig. 5 - Exemples de fonction d'autocorrélation correspondant aux fonctions du temps A et B

A. Signal à bande large B. Signal à bande étroite

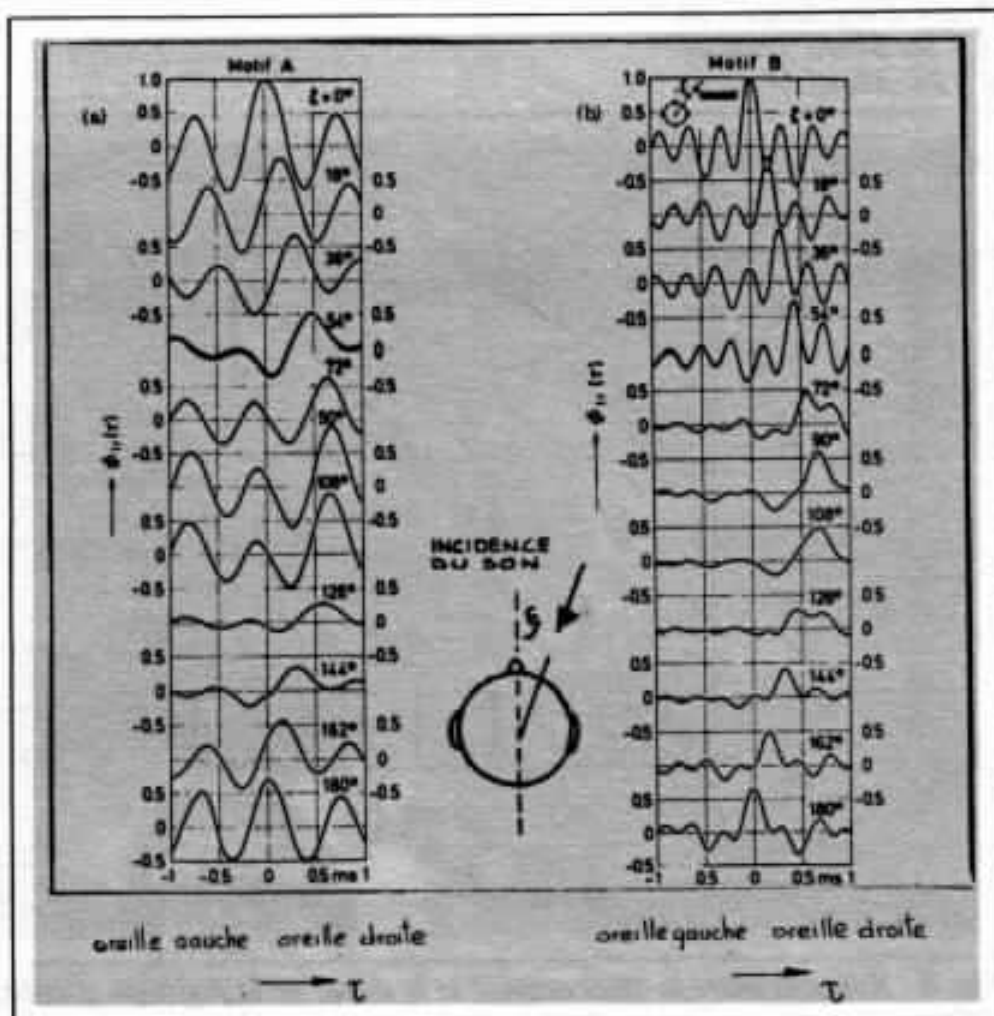


Fig. 6 - Exemples d'intercorrélation interaurale pour différents angles d'incidence obtenus par Ando. Les deux groupes de résultats correspondent aux deux premiers motifs musicaux.

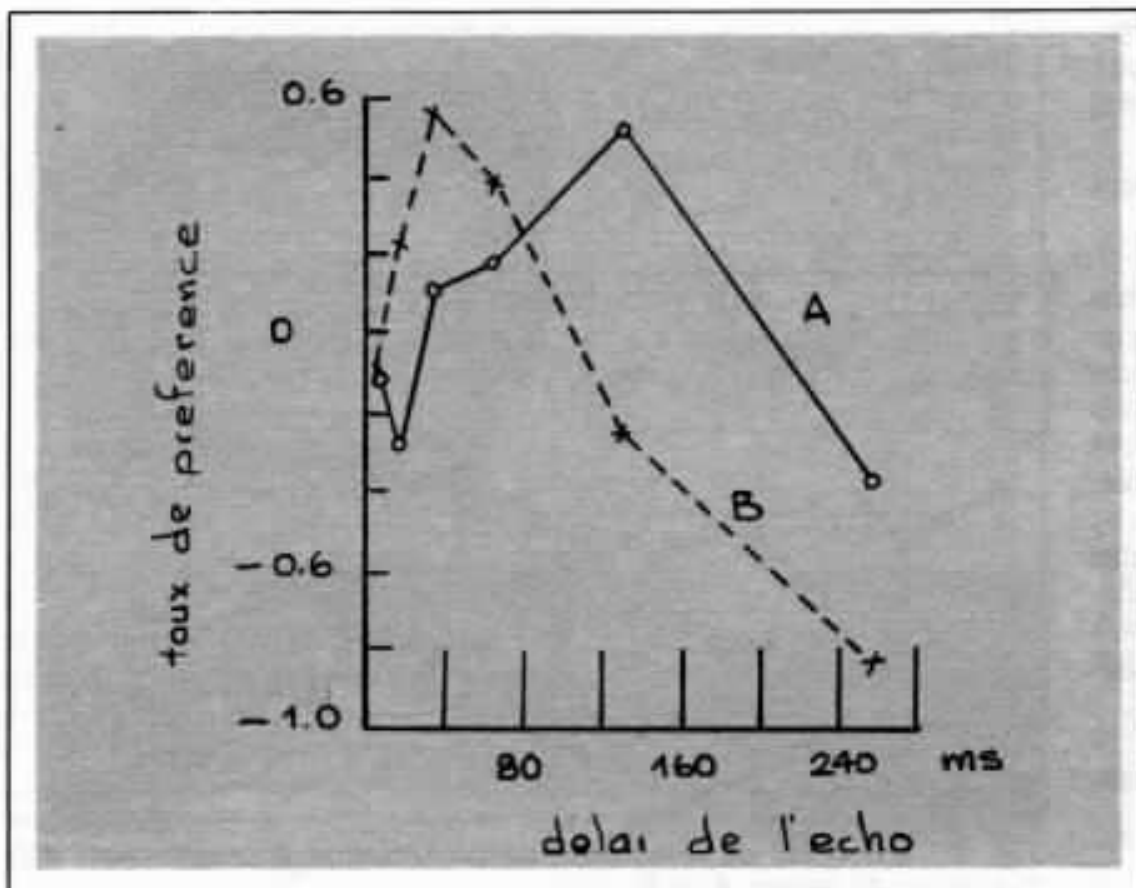


Fig. 7 - Préférence pour des champs sonores en fonction du délai de l'écho.
 Angle d'incidence - 36 °
 A - 1er Motif Musical
 B - 2è Motif Musical

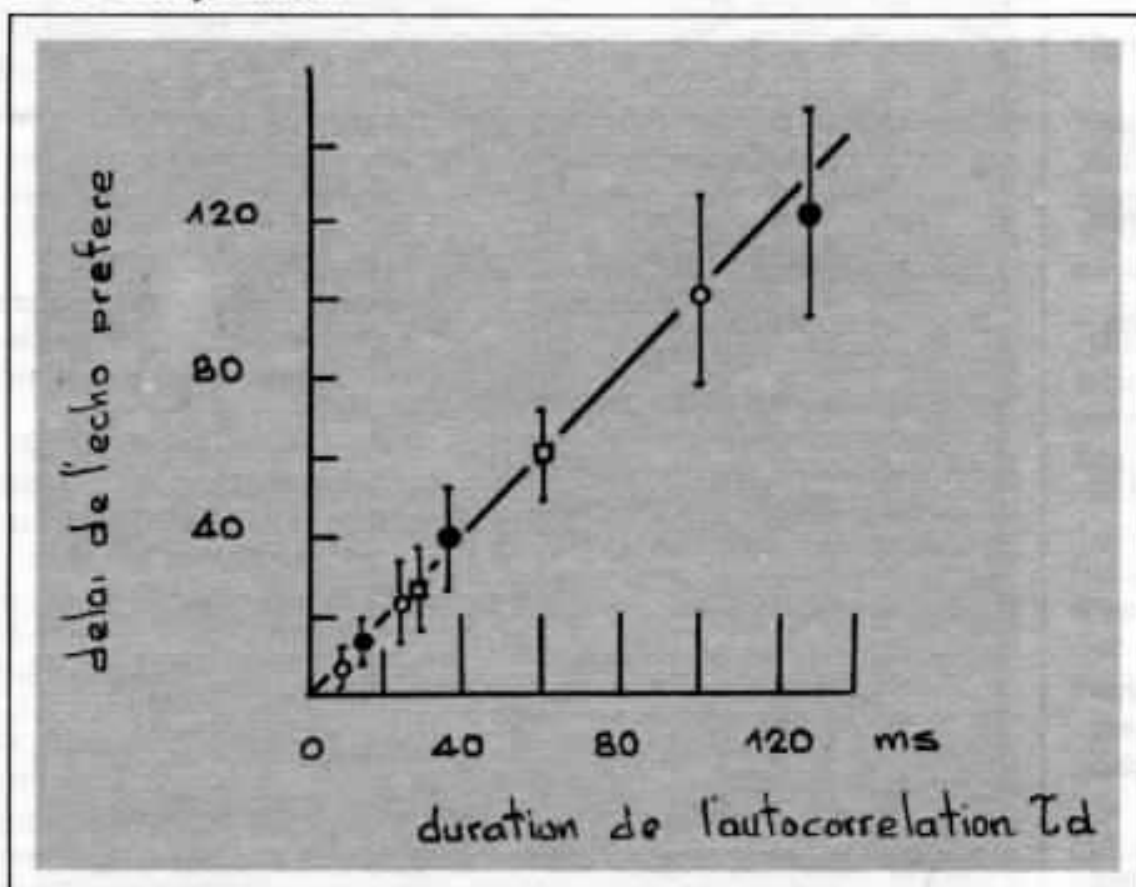


Fig. 8 - Rapport entre le délai préféré et la durée de la fonction d'autocorrélation.
 Les échos ont les niveaux relatifs suivants :
 O + 6 dB
 • 0 dB □ - 6 dB

Le rapport entre la subjectivité et les paramètres objectifs

Des séances d'écoute en chambre sourde en simulant un écho individuel ont été effectuées sous la direction de Y. Ando en Allemagne. On a étudié avec cette méthodologie les préférences pour un champ sonore en rapport avec la fonction d'autocorrélation du signal d'origine (calculé pour de larges intervalles de temps) et l'intercorrélation interaurale des signaux d'arrivée. Les essais comprennent les sources musicales suivantes :

- Royal Pavane de Gibbons
- Sinfonietta, Opus 48, 3^e mouvement de Malcom Arnold

— Symphonie N° 102, 2^e mouvement de Haydn.

Les sujets faisant partie de l'expérience donnent leur appréciation des morceaux de musique diffusés lesquels sont ensuite comparés aux paramètres objectifs obtenus à partir des calculs correspondants. De cette façon le délai préféré entre le son direct et le premier écho a été déterminé par la cohérence entre la fonction d'autocorrélation et l'amplitude de l'écho. Pour sa part la direction préférentielle de l'écho peut être obtenue par la minimisation de la fonction d'intercorrélation interaurale.

Nous vous épargnerons des formules compliquées et considérations de détail ou méthodologie

expérimentale, les illustrations qui accompagnent le texte vous montrent les résultats obtenus par Monsieur Ando.

Par contre, il est intéressant de prêter attention à l'esprit de la voie de recherche exposée ci-dessus et qui se concrétise par la combinaison entre l'estimation subjective et l'expression mathématique trouvée. Cette voie ne fait qu'accroître nos possibilités dans la quête des résultats subjectifs à travers l'objectivation des appréciations d'origine subjective.

Ce n'est pas un jeu de mots mais une ligne de travail que nous entendons faire fructifier et qui nous amènera à vous montrer d'autres analyses et réalisations.