

L'AUDIOPHILE

N° 29 NOUVELLE SÉRIE 17^e ANNÉE

HAUTE FIDÉLITÉ PLUS!

**OPTIMISATION
DES PERFORMANCES
MUSICALES
D'UN LECTEUR CD**

**INSTRUMENTS
DE MUSIQUE**
restauration
des
pianos anciens

CLASSIQUE :
LES GRANDS DISQUES DE
CES DEUX DERNIERS MOIS



JAZZ :
PENDANT LA CRISE, LES
RÉÉDITIONS CONTINUENT



**MUSÉE
IMAGINAIRE :**

HARMAN KARDON
CITATION 11/12



THEORIES :

CHRONIQUE D'UNE OPTIMISATION
SOUS CONTRAINTES (3^e PARTIE)

IDÉES NOUVELLES

RÉFLEXIONS
SUR LA MUSICALITÉ DES
AMPLIFICATEURS
OU LES LEÇONS DU CABLE



**RÉALISATION
PERSONNELLE :**

Bois et sable :
pavillons sectoriels à
quatre cellules

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**



Chronique d'une optimisation sous contraintes

3ème partie



Après un dernier détour par les méandres du fonctionnement des transducteurs électrodynamiques et les particularités émanant de la numérisation du signal, le traitement de la voie extrême-grave du système est abordé. Un cheminement déictique identifie et analyse les obstacles à surmonter pour maîtriser les phénomènes à ces fréquences. Une première approche approximative est décrite : la technique proposée permet le dégrossissement du problème. Elle sera affinée et décrite dans la dernière partie de cette publication.

12.8 L'impédance du haut-parleur dans le plan complexe

La figure 30a montre l'évolution du vecteur $Z < \phi$ d'un haut-parleur en fonction de la fréquence dans le plan complexe $RE(Z)$, $IM(Z)$. Elle a été révélée point par point.

Quelques tiers d'octave significatifs ont été choisis dans ce cas précis (BM dans son enceinte) pour rendre la figure lisible. La valeur à 100 Hz correspond à très peu près (quelques hertz) à la résonance f_r . Au départ de la mesure à 40 Hz, le vecteur Z est résistif. Il passe rapidement en régime inductif de

...40... à 100 Hz où la fréquence de résonance est atteinte ($|Z|=|Z_{max}|$ résistif et i_1 en phase avec e_1). Entre 100 et ... 300 Hz..., le HP fonctionne en régime capacitif. De 300 à 400 Hz, l'impédance est quasiment résistive, puis, l'effet du terme $jL_b\omega$ augmente sans cesse à partir de ...630 Hz... La courbe

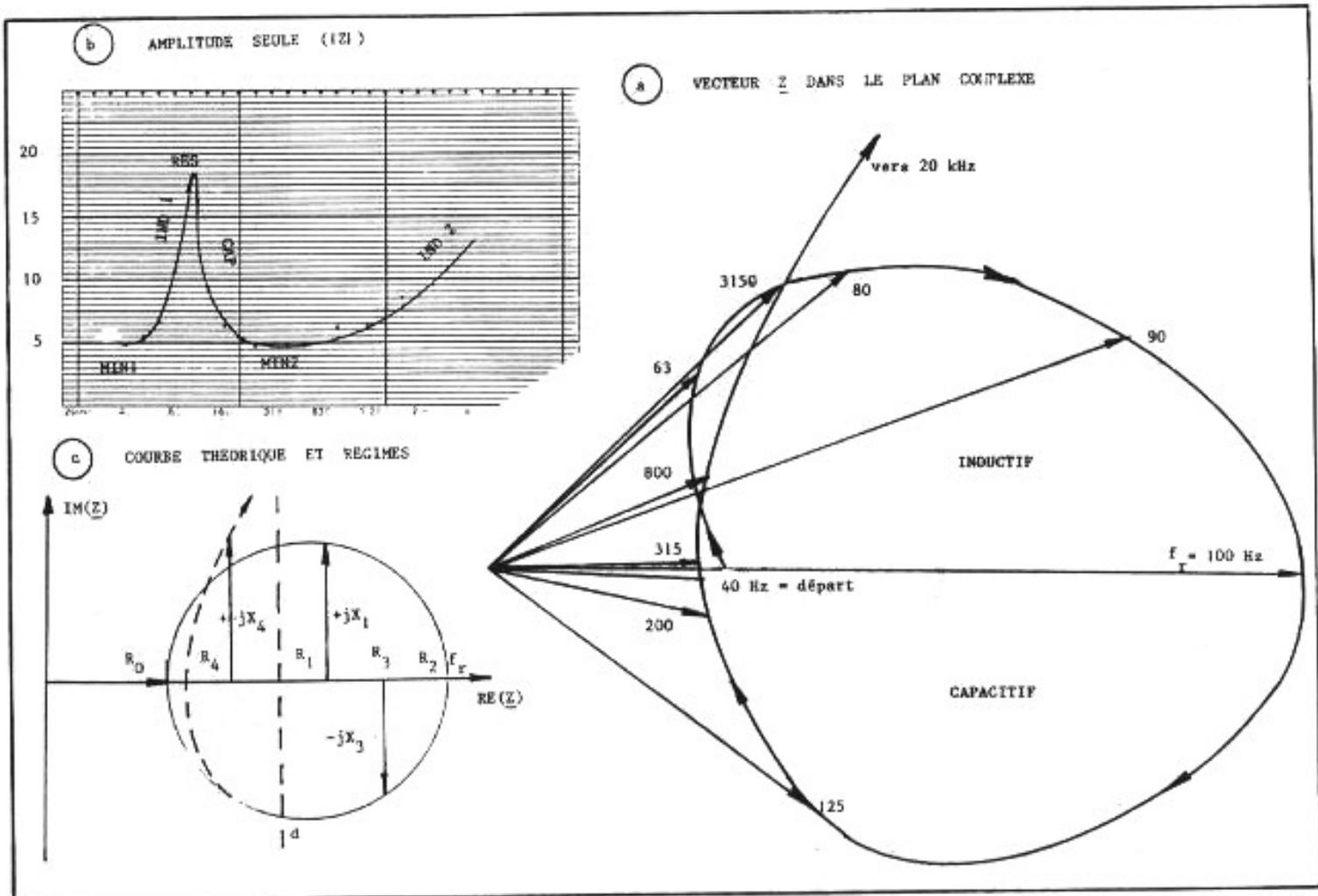


Fig. 30 : Impédance d'un transducteur électrodynamique. a) Vecteur Z dans le plan complexe. b) Amplitude seule ($|Z|$). c) Courbe théorique et régimes.

cissoïdale fléchée montre clairement le "parcours" de l'extrémité du vecteur $Z < \phi$ en fonction de f et illustre la complexité de la loi

$$Z_{HP} = Z(f)$$

et du travail à accomplir par l'amplificateur de puissance qui le pilote.

La figure 30b donne la représentation traditionnelle du module $|Z|$ en fonction de f . La figure 30c représente la courbe théorique correspondant à l'équation (4). Il s'agit pratiquement d'un cercle comme démontré en annexe 3. Ceci montre que la méthode de mesure utilisée (oscilloscope) est imprécise et explique la forme ovoïde relevée alors que la théorie conduit à un cercle. Les valeurs $R_i + jX_i$ reportées en figure 30c permettent de bien identifier les différents régimes de fonctionnement.

L'annexe 3 [5] examine de façon plus fouillée le contenu de cette figure 30 très dense en informations.

12.9 La distorsion microphonique du haut-parleur

• Cette distorsion existe bel et bien. Elle est pourtant rarement mentionnée en tant que telle dans la littérature spécialisée (figure 31). Elle est loin d'être négligeable et est plus facile à mettre en évidence sur des HP non filtrés.

• La trace p_a (agrandie en fig. 23cA) fait apparaître un creux h de pression acoustique juste après le pic + du haut-parleur d'aigu. La pression acoustique est à ce moment légèrement négative (alors qu'elle devrait être nulle, la bobine mobile ne se déplaçant en principe

plus) et il est manifeste que ce creux h de l'onde p_a correspond à la diminution B du courant dans le fil. En terme d'erreur sur p_a , ce phénomène peut être estimé à 5 ... 10% sur ce transducteur A non filtré.

• En ce qui concerne le HM de la figure 31b, la trace p_a, HM met en évidence une pression acoustique nettement négative en h correspondant également manifestement à la diminution (B) du courant dans le fil, et donc à un mouvement indésirable ($a \rightarrow b$) de la bobine par rapport au mouvement souhaité et idéal ($a \rightarrow a'$). Le phénomène atteint ici une amplitude de l'ordre de 30% en pression acoustique.

• La figure 31c, relative au transducteur EG a été réalisée sur une impulsion de 5 ms. Les traces, différentes des deux

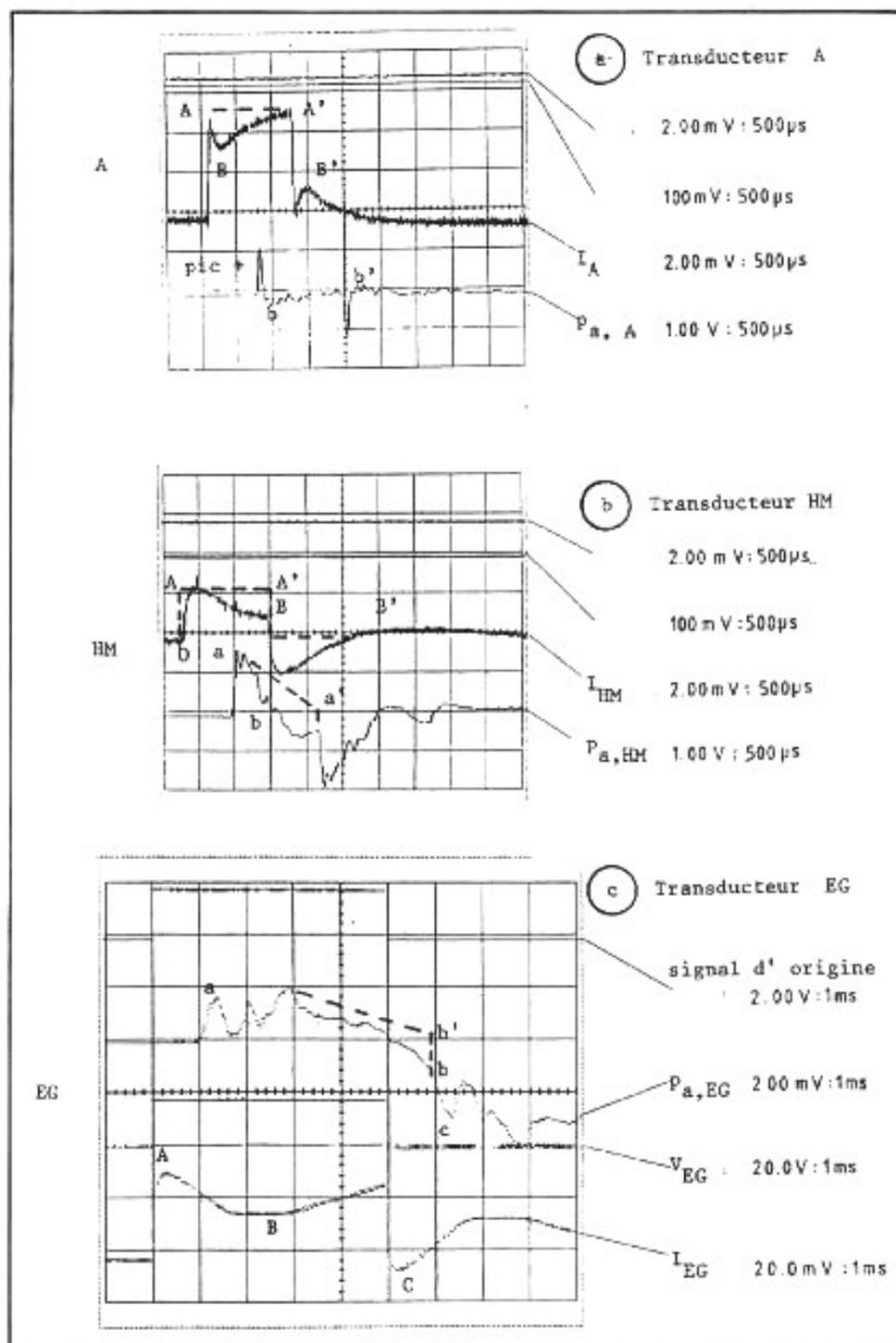


Fig. 31 : La distorsion microphonique d'un haut-parleur non filtré en régime impulsionnel. a) Transducteur A; b) Transducteur HM; c) Transducteur EG.

oscillogrammes ci-dessus, sont clairement repérées. La trace $p_{a,EG}$ montre un comportement en pression relativement semblable à celui du BM. Après un départ a correspondant au courant en A , la pression diminue et devient négative en b et ce point correspond au minimum de courant B dans la bobine.

Ce minimum de pression serait b' ($=0$) si la f.c.e.m. de Lenz n'existait pas et la pression acoustique suivrait le tracé $a \rightarrow b'$ pour partir ensuite dans le sens négatif (c) lors du front de descente de la tension et du courant (C).

• Cette distorsion microphonique du HP électrodynamique peut donc être largement supérieure aux dis-

torsions affichées par l'électronique ou des composants passifs (câbles...).

Elle doit être plus faible dans une chaîne multi-amplifiée où les transducteurs sont pilotés par des amplificateurs spécialisés à haut facteur d'amortissement (voir annexe 4).

Elle est amoindrie par le filtrage actif comme l'a montré le paragraphe 12.7.4.

12.10 Mise en phase G/D des différentes voies

Les transducteurs de chaque voie des enceintes G et D doivent évidemment être en phase les uns par rapport aux autres et cette vérification peut paraître très fastidieuse compte tenu du nombre de connexions à vérifier. Il n'en est rien.

Un constructeur nordique de matériel électroacoustique ayant pignon sur rue propose sur un CD test une plage contenant 20 s de bruit rose. Sur ces 20 s, les deux voies G et D sont en phase pendant les 10 premières secondes et hors phase pendant les 10 dernières secondes.

Il suffit dès lors, en lisant ce CD, d'enclencher tous les silencieux de voie sauf une et d'écouter le résultat. Lorsque les signaux G/D sont en phase, le son vient clairement du centre. Le son obtenu est par contre beaucoup plus diffus pendant les 10 s de fonctionnement hors phase.

L'opération doit être répétée pour chacune des voies successivement et prend au total environ 1 mn tant les différences obtenues sont nettes.

Ces différences peuvent d'ailleurs s'observer sur l'analyseur temps réel (fig. 19), mais l'utilisation de celui-ci n'est pas indispensable.

12.11 Toujours à propos des limites de la numérisation

L'existence d'incrément de 0,021 ms pour le réglage du retard

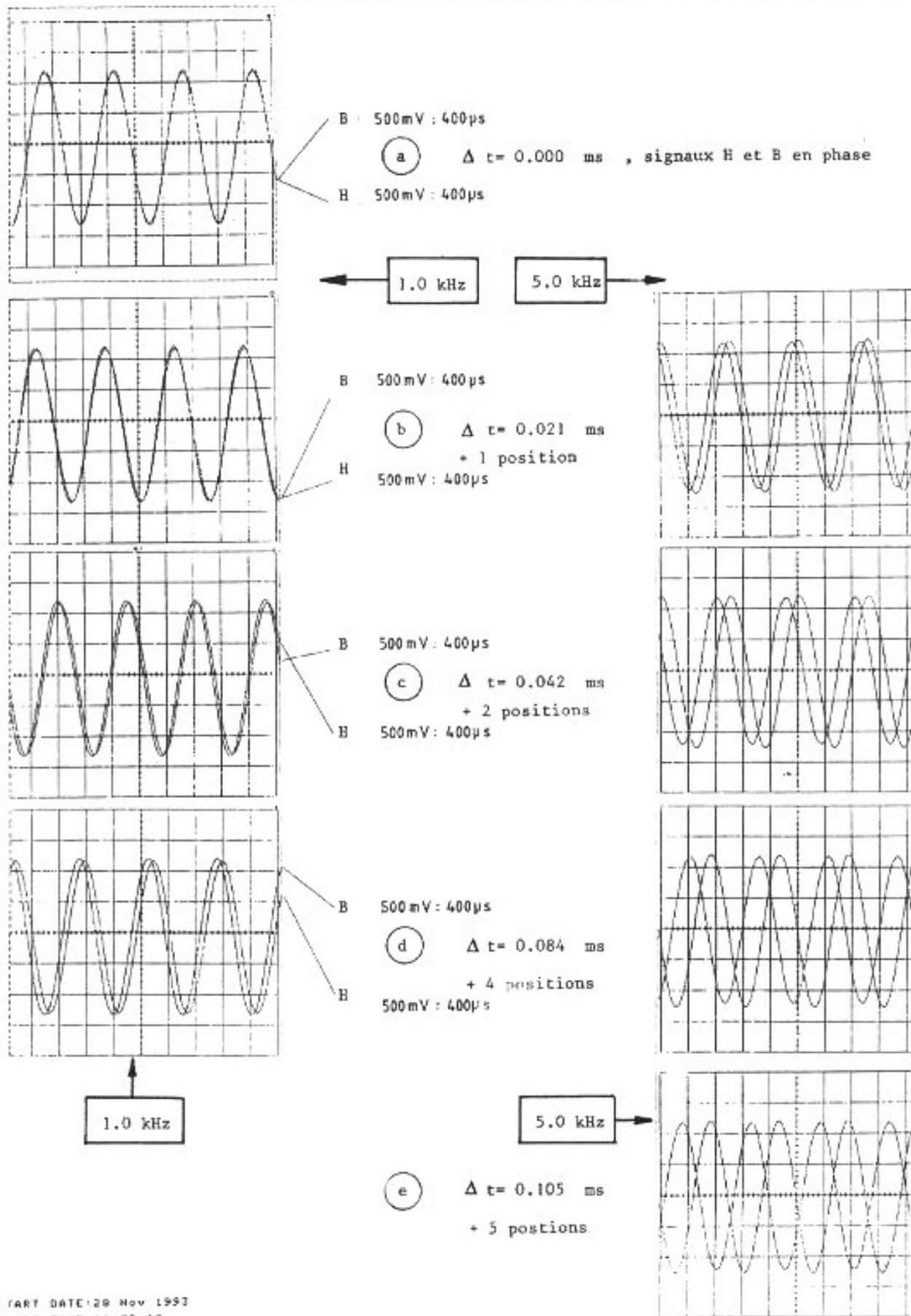


Fig. 32 : Limites introduites par la numérisation des Δt (signaux sinusoïdaux de 1 kHz et 5 kHz). a) $\Delta t=0,00$ ms, signaux H et B en phase. b) $\Delta t=0,021$ ms (+1 position). c) $\Delta t=0,042$ ms (+2 positions). d) $\Delta t=0,084$ ms (+4 positions). e) $\Delta t=0,105$ ms (+5 positions).

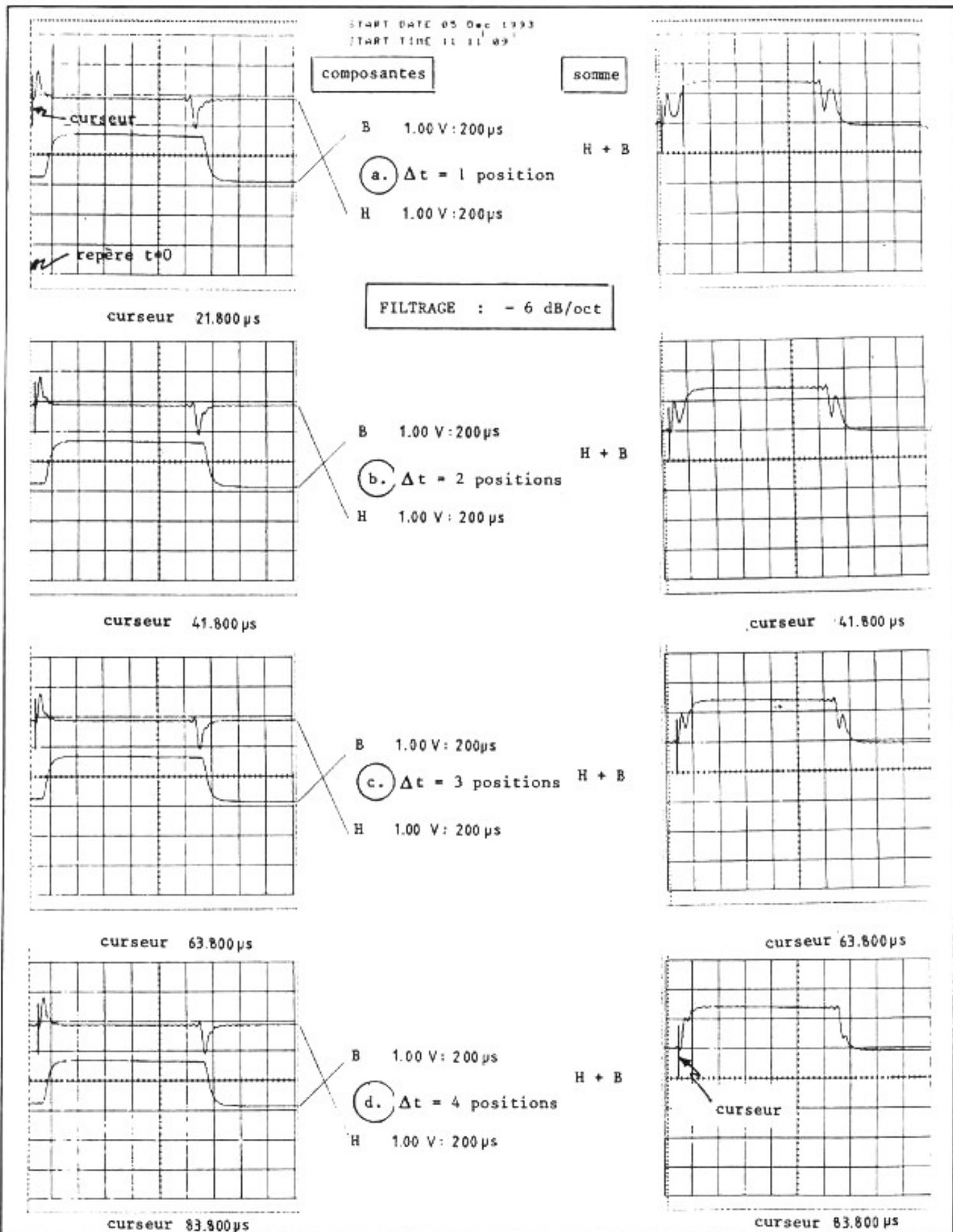


Fig. 33 : Limites introduites par la numérisation des Δt en régime impulsionnel, (1,2 ms). a) $\Delta t=1$ position. b) $\Delta t=2$ positions. c) $\Delta t=3$ positions. d) $\Delta t=4$ positions.

de voie Δt peut sembler conférer à ce réglage une grande souplesse. Il n'en est rien, tout au moins au-dessus de ... 1 kHz... La figure 32 montre en effet que, si à 100 Hz le confort est total avec 20 positions par alternance pour ajuster la position relative de deux sinusoïdes à décaler, à 1 kHz la situation est déjà moins confortable puisque

$$T=1 \text{ ms} \quad \Delta t=0,021 \text{ ms}$$

conduisent à $\frac{T/2}{\Delta t} \approx 24$ positions par alternance.

La partie gauche de la figure 32 montre les positions respectives des signaux H et B à 1 kHz de la figure 1 lorsque le signal H est retardé successivement de 0.021, 0.042 et 0.084 ms soit respectivement de 1, 2 et 4 positions sur l'appareil. La partie de droite de cette figure 32 est relative au cas où la f_c séparant

les voies H et B est de 5 kHz. Cette fréquence de coupure est approximativement celle utilisée par l'auteur. Il est clair que les mêmes incréments en valeur absolue (0.021 ms) se traduisent par des déphasages beaucoup plus importants : à cette fréquence et avec $\Delta t=0.105$ ms, soit 5 positions sur l'appareil, les deux ondes H et B sont quasiment en opposition de phase. Ces discontinuités sont d'ailleurs nettement ressenties lors des tentatives de positionnement de l'aigu en cours de réglage.

La figure 33 a été réalisée en mode impulsif : une impulsion de 1,2 ms a été appliquée à l'entrée du filtre constitué d'un PH et d'un PB centrés sur 4,5 kHz :

$$\begin{cases} f_c = 4,5 \text{ kHz} \\ P_k = -6 \text{ dB/oct.} \\ A_c = -6 \text{ dB} \end{cases}$$

Des niveaux réalistes de 1 à 1,5 division ont été choisis pour les composantes H et B respectivement. La partie gauche de la figure montre les composantes H et B du signal filtré, tandis que la partie droite montre leur somme H+B (réalisée au moyen de la fonction "somme de deux signaux" disponible sur l'oscilloscope).

Sur les oscillogrammes sont également visibles une ligne verticale pointillée représentant l'origine du temps ("repère t=0") et un curseur suivant le déplacement de la trace H et dont la position en μs est donnée en bas à droite de chaque grille oscillographique.

La partie de droite de la figure montre les déformations successives que subit le signal somme lorsque le Δt appliqué à la voie H passe de 0,021 ms à 0,084 ms (soit

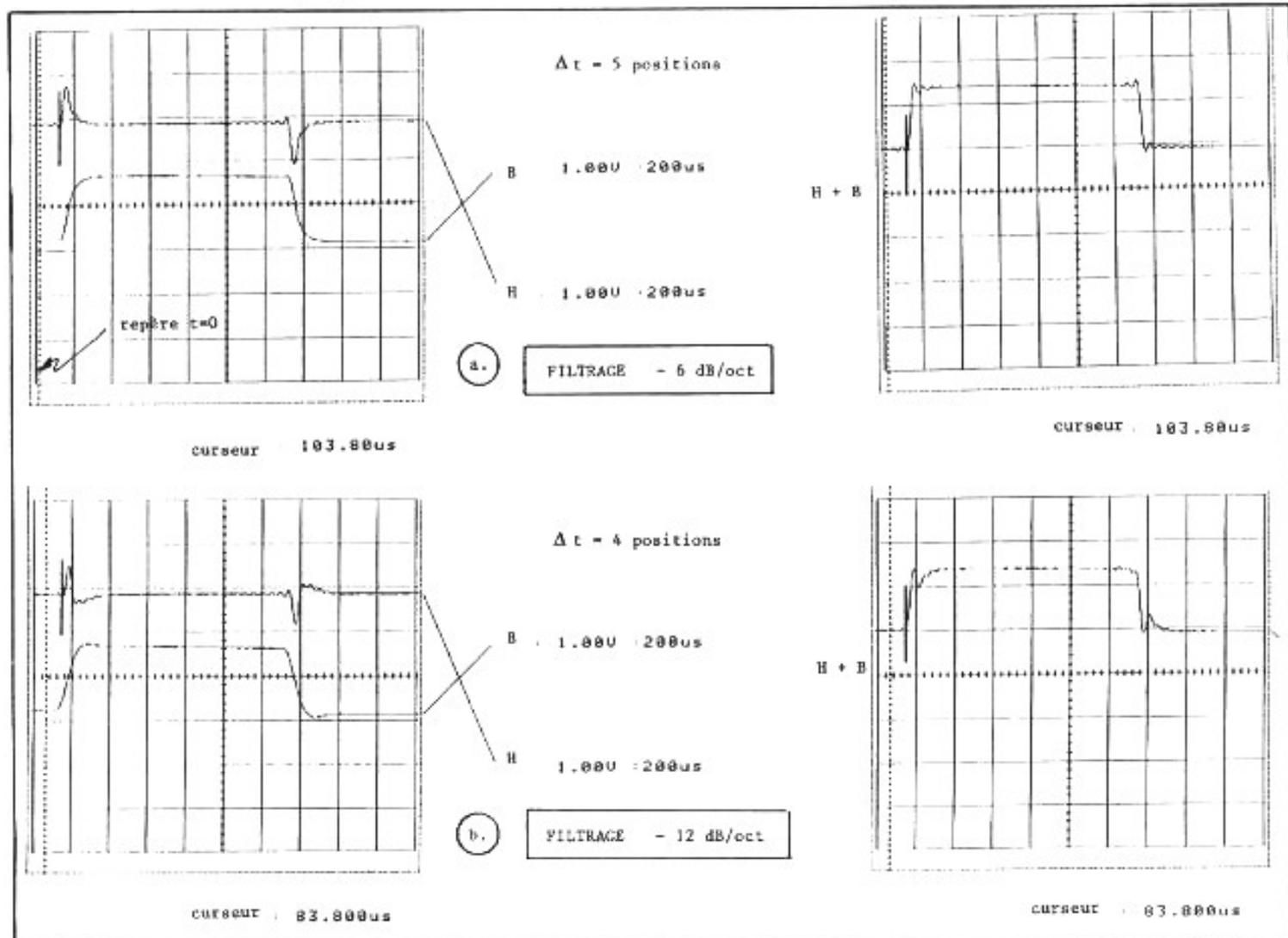


Fig. 34 : Composantes et somme en impulsif avec des filtrages différents. a) Filtrage -6 dB/oct. b) Filtrage -12 dB/oct.

de 1 à 4 positions). Dans ce cas (f_c , p_k) et avec un retard $\Delta t=0,084$ ms sur la voie H, l'impulsion originale n'est pas encore reproduite fidèlement (fig. 33d). La figure 34a, relative aux mêmes conditions de filtrage montre que l'optimum est obtenu avec un $\Delta t=0,104$ ms (soit +5 positions) appliqué à la voie H. La figure 34b montre qu'avec un filtrage à -12 dB/oct., la somme H+B la meilleure est obtenue avec 0,084 ms soit 4 positions : les Δt à appliquer pour optimiser la réponse impulsionnelle varient avec le type de filtrage utilisé et, à ces valeurs de f_c , la souplesse de réglage n'est pas très grande. Des incréments de 0,01 ms seraient nettement préférables...

Cette figure 34 fait également comprendre que les Δt à appliquer ne reflètent pas seulement la géo-

métrie de l'enceinte et le positionnement relatif du transducteur : il faut également intégrer dans ces Δt les retards intrinsèques à l'électronique.

12.12 Filtrage actif et filtrage passif, une petite bafouille bienvenue...

La figure 35a représente schématiquement une chaîne filtrée passivement et le croisement fonctionnel à réaliser pour passer en filtrage actif : le filtrage est reporté en amont de l'amplificateur de puissance sur la figure 35b avec comme conséquence la multiplication des amplificateurs de puissance spécialisés (G, M et A sur la figure 35b).

• C'est à dessein que le filtrage passif a été représenté comme un élément séparé sur la fig. 35a, car

c'est la réalité. S'il est en général intégré à l'enceinte, c'est un pis-aller technico-économique : il doit être de volume modeste et il y subit en tout cas de plein fouet les vibrations provoquées par les transducteurs.

De plus, les filtres passifs mettent en œuvre :

- des éléments R, L, C de valeur fixée par les constructeurs de composants et imprécis, car les tolérances de fabrication sont larges ($\pm 15\%$) et qui *devraient* être énormes puisqu'ils sont traversés par des courants importants. Des réalisations prestigieuses récentes en témoignent .

- des pertes d'insertion :
actives RI^2
réactives $(L\omega I^2 - C\omega U^2)$

- des interactions magnétiques mutuelles entre les diverses induc-

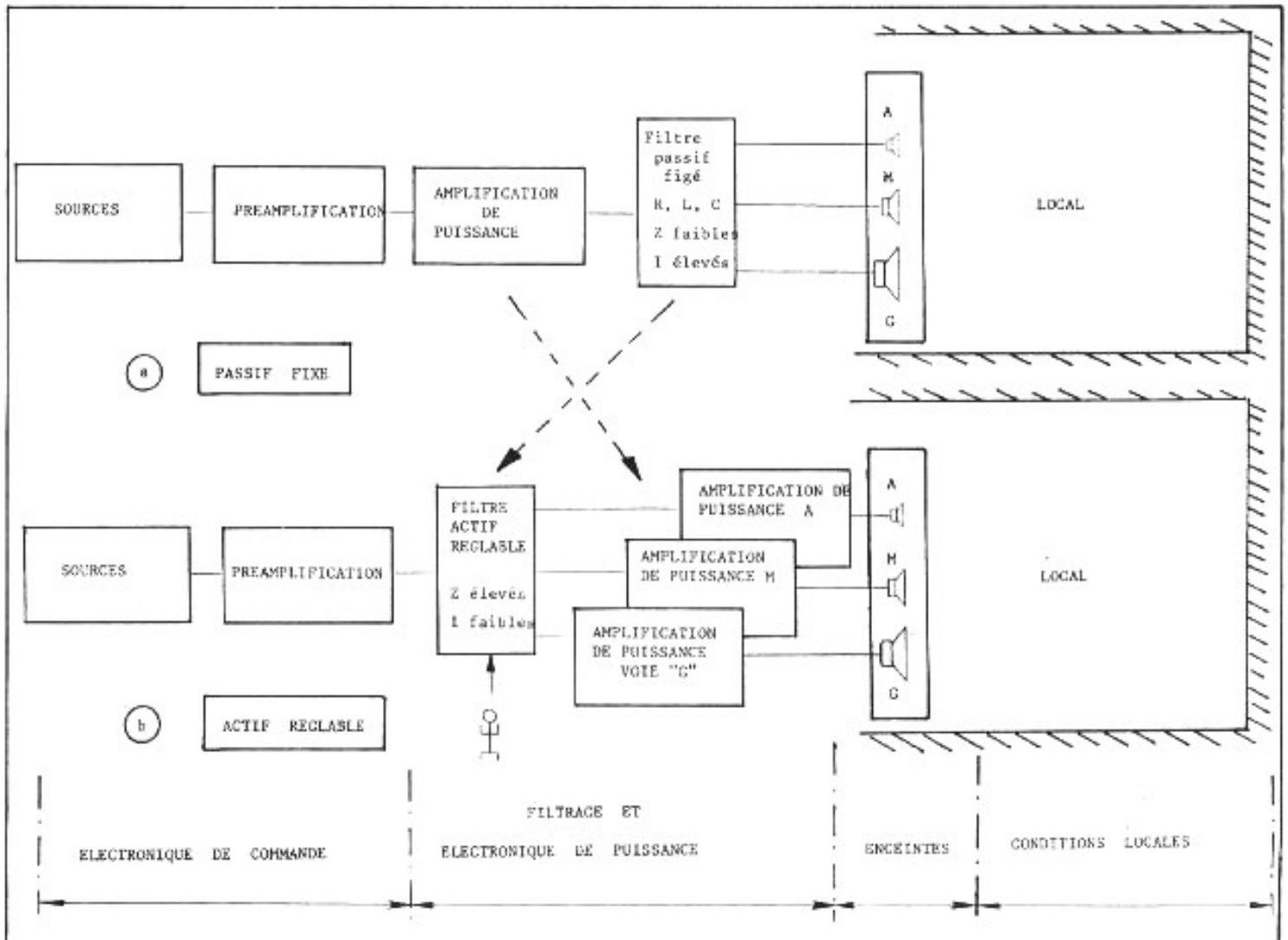


Fig. 35 : Les deux types de filtrage et leur adaptabilité aux conditions d'écoute.

tances si celles-ci sont mal disposées,

- des réactances $j \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)$

variables avec la fréquence et insérées entre l'amplificateur de puissance et les transducteurs (dont l'impédance est déjà fort complexe). Ces réactances de filtrage passif pourraient être responsables de l' "effet câble" : un seul câble est idéal pour un filtrage passif donné.

- des énergies magnétique $1/2 LI^2(t)$ et électrique $1/2 CU^2(t)$ accumulées en continue évolution et variables en fonction de V_{amp} et de la f.c.e.m. de Lenz renvoyée par le transducteur. Des échanges d'énergie ont donc lieu continuellement entre les inductances et les condensateurs et des dissipations dans les résistances,

- des niveaux de voies, de retards de voies, des pentes... *intangibles*.

Enfin, l'effet de ces filtres passifs sur la distorsion microphonique des haut-parleurs est très difficile à évaluer.

• A l'opposé, les filtres actifs et, en particulier les filtres numériques, travaillent en amont des étages de puissance sur des impédances élevées des courants faibles,

et ne présentent donc pas les défauts ci-dessus. De plus, ils possèdent le considérable avantage, illustré par le pictogramme de la fig. 35b, de proposer à l'opérateur des paramètres ajustables (f_c , p_k , A_c , Δt_v ...). Ceci confère à cet équipement une souplesse très grande tandis que les inconvénients du filtrage passif s'évanouissent.

• Une autre supériorité énorme de la multi-amplification est qu'elle présente à chaque transducteur spécialisé une source de tension presque parfaite qu'est l'amplificateur de puissance dont la résistance de sortie est très faible. Ceci minimise la distorsion microphonique des transducteurs (voir 12.9),

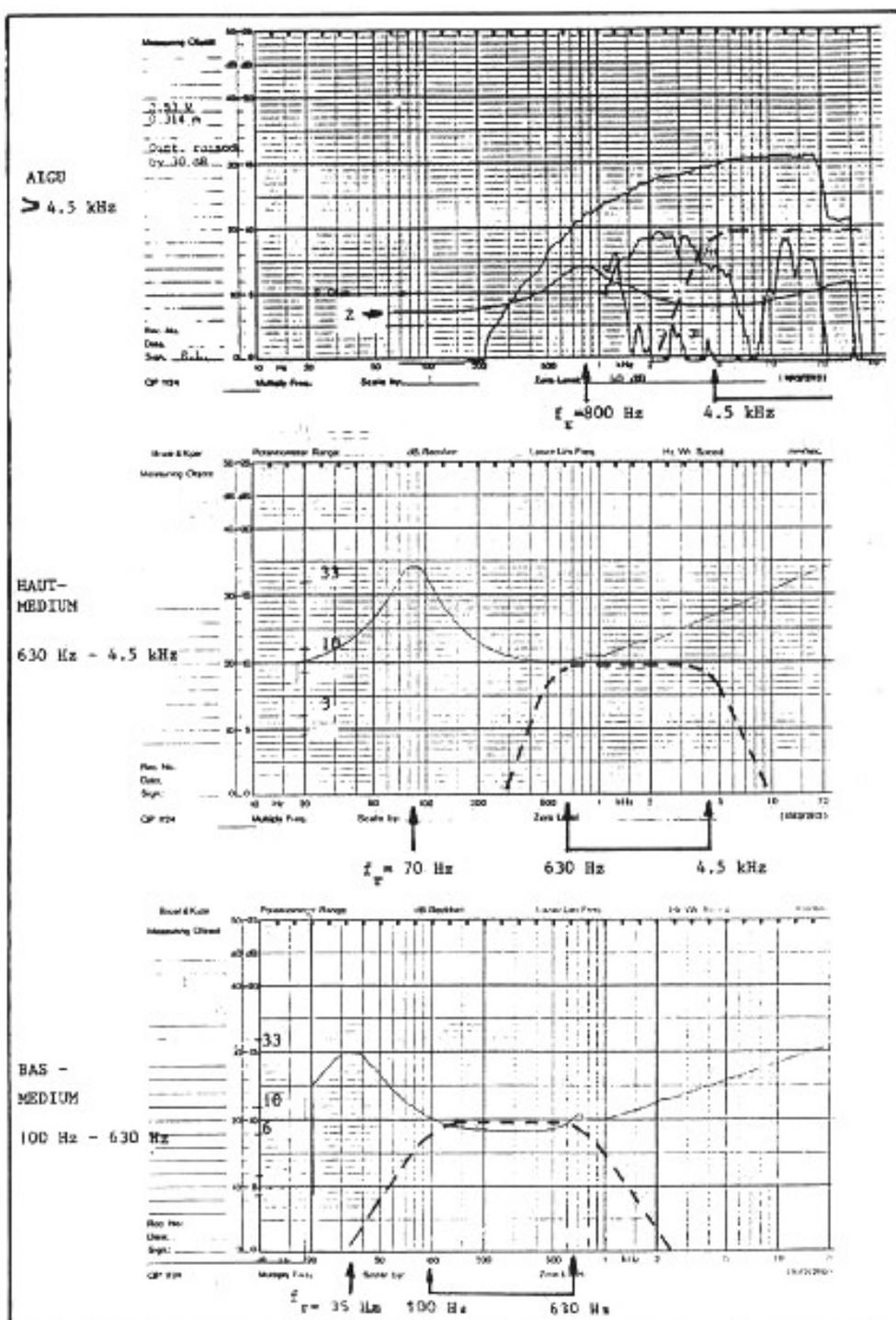


Fig. 36 : Courbes d'impédance de trois transducteurs du système et leurs domaines de fréquences respectifs.

leur confère un amortissement élevé (annexe 4) et permet d'actionner ceux-ci dans leur zone de fonctionnement idéale, comme le montre la fig. 36.

Celle-ci est relative aux variations d'impédance des 3 HP supérieurs des enceintes utilisées (documentation SCAN Speak et Audax). Cette variation est particulièrement faible pour le BM dans sa zone d'utilisation, l'impédance

étant égale à environ 6Ω dans toute la plage 100-630 Hz. Elle est plus grande pour le HM et l'A car les effets de la réactance $jL_p\omega$ sont plus sensibles. Dans les trois cas, la fréquence de résonance f_r est largement en-deçà du domaine fréquentiel utilisé. L'atténuation de f_r par rapport au domaine de fréquence $[f_B, f_H]$ est de 20 dB pour le BM et de plus de 40 dB pour le HM et l'A. Ces chiffres découlent

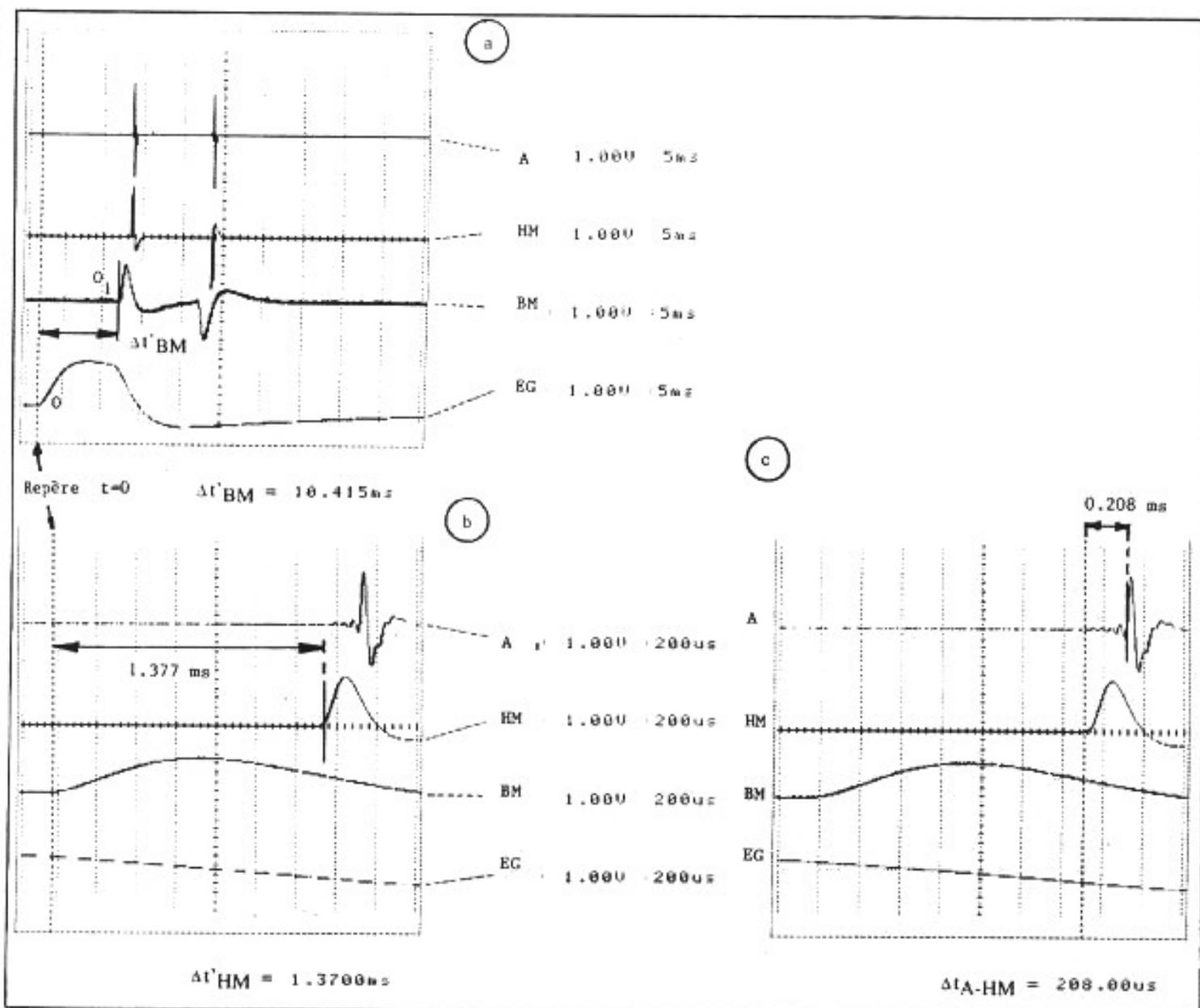


Fig. 37 : Fonctionnement temporel du filtre sur une impulsion de 10 ms. a) Réponse d'ensemble. b) Loupe sur l'écart BM-HM. c) Loupe sur l'écart HM-A.

des pentes de filtrage reportées en trait interrompu sur les courbes d'impédances et tracées avec une résolution de 1 dB par division. Les chiffres relatifs aux valeurs d'impédance en ohms (3, 6, 10, 33) ont été ajoutés à droite de l'axe des ordonnées. L'amplificateur BM travaille quasiment sur une charge résistive de 6Ω tandis que les amplificateurs HM et A travaillent sur une charge inductive pure, loin en tout cas de la zone où le terme $\frac{(Bl)^2}{(Z_A + Z_M)}$ est important, amenuisant l'effet de cette impédance due au mouvement (voir l'annexe 3) :

l'effet microphonique du HP est donc réduit par la multiplification, comme déjà mentionné en 12.9. Il l'est d'autant plus que la f.c.e.m. $e_c(t)$ de la bobine mobile débite sur des résistances très faibles uniquement (câble + amplificateur de puissance). L'annexe 4 explicite ce problème de l'amortissement des transducteurs.

• Evidemment, le tribut à payer pour atteindre cette souplesse et cette qualité d'écoute est un investissement supplémentaire, mais celui-ci est largement récompensé par une satisfaction auditive incomparable.

En un mot comme en mille, si le shannon de l'audiophile en matière d'audition subjective est le chouia et si le passage d'un équipement à un autre (câble par exemple...) sur une chaîne filtrée passivement améliore le résultat de 2 à 3 chouias, le passage à la multiplification sur cette même chaîne apportera peut-être 1 000 chouias. A bon entendeur salut... !

13. Le traitement de l'extrême-grave

13.1 Rétroactes

Le traitement de cette voie en régime impulsionnel avait été dif-

férent au début des travaux pour diverses raisons plus ou moins obscures à l'époque et qui ont aujourd'hui trouvé une solution ou une explication partielle.

Les difficultés rencontrées tenaient à des raisons de nature diverses :

a. la pente introduite par le filtre numérique sur une impulsion de 20 ms,

b. le bruit énorme à supporter durant les réglages,

c. l'utilisation d'un passe-bande pour l'EG au lieu d'un simple passe-bas,

d. l'inversion du signal provoqué insidieusement par l'amplificateur EG,

e. le manque de résolution disponible sur l'oscilloscope pour l'examen d'un seul coup d'œil de phénomènes de 20 ms.

f. la réponse impulsionnelle relativement mal amortie de l'EG,

g. les phénomènes de salle (à 100 Hz, la longueur d'onde est d'environ 3,4 m et n'est pas négligeable comparée à la plus petite dimension du local).

La ferme intention d'aligner cette quatrième voie existait néanmoins. L'expérience acquise au cours du réglage des trois voies supérieures a permis d'esquiver la plupart des problèmes rencontrés à la suite d'une réflexion approfondie.

13.2 Parades et éclaircissements

• Les problèmes posés par a. et b. ont été partiellement résolus en adoptant une impulsion de 10 ms. Celle-ci est moins contraignante pour le filtre et pour les oreilles de l'opérateur tout en sollicitant suffisamment les quatre voies des enceintes : la fig. 37 réalisée sur le filtre seul montre que les niveaux sont de l'ordre d'1 volt sur la sortie de chacune des voies. L'énergie maximum est cette fois envoyée à l'EG : le paragraphe 12.2 avait montré qu'avec une impulsion de

1,2 ms, l'EG était très peu sollicité tandis que l'énergie maximum était envoyée au transducteur BM. La comparaison de la figure 37a avec la figure 18 est éloquent à ce sujet. Cette figure 37 assez dense sera commentée plus en détail en 13.4.2.

• En ce qui concerne c et d, l'examen de la fig. 38 montre la déformation que subissent les traces V_{EG} et $p_{a,EG}$ lorsque la pente du passe-haut à 20 Hz passe de -24 dB/oct. à 0dB/oct. : les déphasages et déformations sont importants avec un passe-haut à pente raide et il est difficile d'identifier l'onde principale de pression acoustique $p_{a,EG}$ (fig. 38a). En l'occurrence, une pente de -18 dB/oct. était utilisée (naïvement... !) pour la protection des transducteurs EG contre les composantes infrasonores du signal. L'amplificateur EG est du type "à courant continu" et peut causer des dégâts, mais cette protection coûte cher en qualité sonore dans l'EG. Pour les perfectionnistes, mieux vaut éliminer les mauvais disques, d'ailleurs rapidement décelables à l'oreille.

L'explication définitive est apparue en transformant le passe-bande EG

$$f_{cB} = 20 \text{ Hz}$$

$$p_B = -18 \text{ dB/oct.}$$

$$A_c = -6 \text{ dB}$$

$$f_{cH} = 100 \text{ Hz}$$

$$p_H = -12 \text{ dB/oct.}$$

$$A_c = -3 \text{ dB}$$

en un simple passe-bas avec les caractéristiques ci-dessus à 100 Hz ; le résultat est éloquent : la fig. 38d fait apparaître une trace V_{EG} enfin conforme aux attentes mais... inversée du fait de l'amplificateur EG. Il suffit dès lors d'inverser ce signal à la sortie du filtre (fig. 38e) pour pouvoir enfin traiter cette voie EG correctement en centrant les signatures des voies supérieures sur le point A du signal $p_{a,EG}$. Le point B de ce signal est déplaisant mais il

est inévitable lorsqu'on observe la figure 38f faisant apparaître le signal EG sortie filtre : une dérive courant continu explique la présence de cette oscillation négative importante en B.

• La difficulté posée par e. peut être résolue par un élargissement et un affinement de la procédure décrite en 7.3.2 : cet aspect clé du traitement de la voie EG sera explicité ci-dessous.

• Malgré l'utilisation de deux transducteurs de 21 cm montés en push-pull série pour l'EG, ce qui permet de doubler le facteur de force BI (égal à $2 \times 9,15 = 18,3 \text{ Tm}$ suivant la documentation constructeur), la réponse impulsionnelle de l'EG reste assez médiocre mais cette faiblesse est irréductible. Ceci pour f.

• Les problèmes mentionnés en g. sont également irréductibles actuellement.

13.3 Précautions liminaires

• L'impulsion de 10 ms présentant malgré tout une pente non négligeable, la forme d'onde recueillie par le microphone $p_{a,loc}$ sera affectée du même défaut et il ne faudra pas s'étonner de trouver des résultats du type de la fig. 39a où la pente générale ne fait que refléter celle de l'impulsion originale à la même échelle en fig. 39b.

• A ces éclaircissements et ces précautions, il faut ajouter une difficulté causée par la résolution que permet l'image oscillographique.

Les figures 39 à 41 et les réglages correspondants sont en effet réalisés avec une base de temps (2 ms au mieux) ne donnant pas une résolution suffisante pour l'étude des phénomènes : certains nécessitent en effet une résolution de... 0,2 ms/div... (voir la fig. 10) et les Δt du filtre peuvent varier par incréments de 0,021 ms... ! Ceci laisse présager que ce traitement de l'EG s'apparente à une gageure.

• Les résultats de réglage avec une impulsion de 10 ms doivent être cohérents avec ceux obtenus

START DATE: 25 Dec 1993
 START TIME: 10:26:38

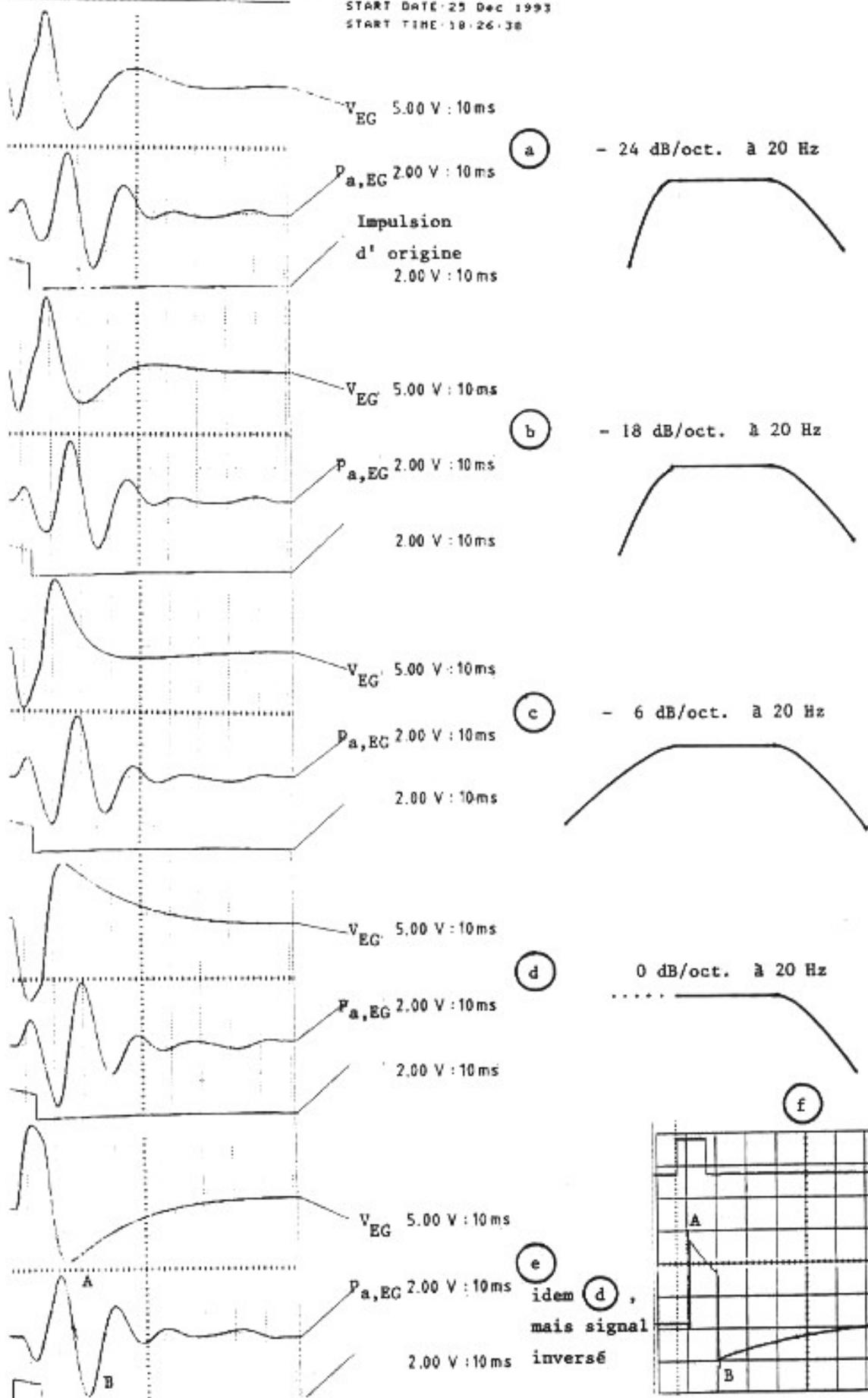


Fig. 38 : Transformation progressive du passe-bande EG en passe-bas. a) -24 dB/oct. à 20 Hz; b) -18 dB/oct. à 20 Hz; c) -6 dB/oct. à 20 Hz; d) 0 dB/oct. à 20 Hz. ; e) idem d) mais signal inversé. ; f) signal sortie filtre.

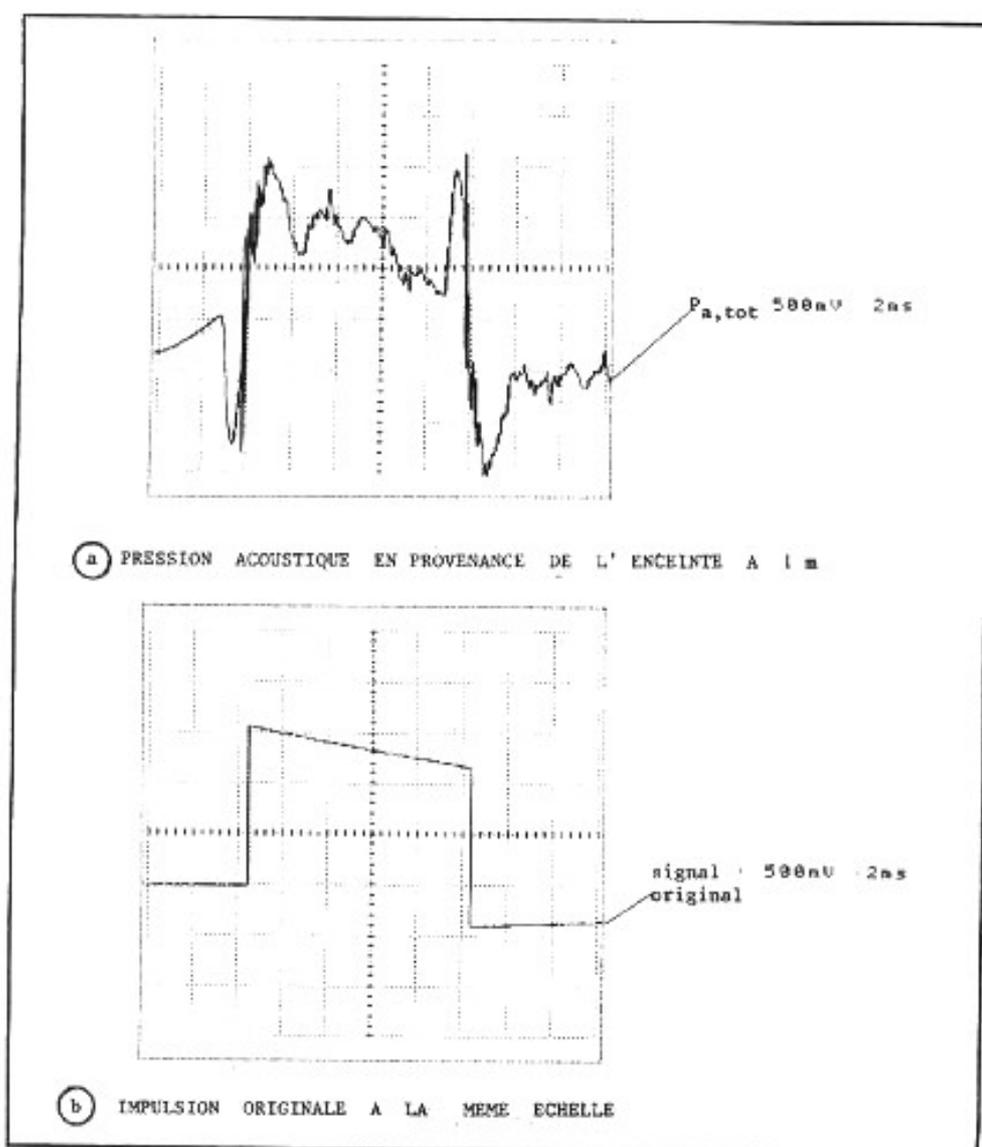


Fig. 39 : Réglages sur une impulsion de 10 ms. a) Pression acoustique en provenance de l'enceinte à 1 m. b) Impulsion originale à la même échelle.

avec 1,2 ms. Ceci mérite vérification et une adaptation éventuelle de la procédure proposée en 7.3.2.

Un front de montée doit être reproduit fidèlement quelle que soit la durée du plateau de l'impulsion qui suit. La tenue de la pression acoustique pendant toute la durée du plateau nécessite un transducteur approprié, à savoir un EG, pour établir l'assise d'une impulsion de 10 ms.

13.4 Le processus de mise en phase sur une impulsion de 10 ms

Les travaux seront réalisés sur le filtrage "constructeur".

13.4.1. Première approximation

Ce processus de mise en phase

approximative a été décrit au paragraphe 7.3.2 et sera illustré par la figure 40, établie à 1 m de l'enceinte en fonctionnement et à hauteur d'écoute. Des affinements seront proposés par la suite.

Pour cet essai démonstratif, les voies A, HM et BM ont d'abord été toutes fortement retardées par rapport à l'EG pour la clarté de la figure.

La partie gauche de la figure est relative aux signaux hors phase tandis que la partie droite montre les signaux en phase.

Sur la trace $p_{a,EG}$ (pression acoustique due à l'EG uniquement) ont été superposées successivement les signaux des autres voies en phase et hors phase.

L'aigu, par exemple, apparaît en fig. 40a en retard d'environ 2 ms tandis qu'il est en phase avec la trace $p_{a,EG}$ sur la partie droite de la figure après action appropriée sur le Δt_A . L'origine du temps à considérer en pratique, compte tenu du faux départ de l'EG, a été indiquée sur cette figure :

$$t_{0,EG} \cong 9 \text{ ms.}$$

Le HM apparaît ensuite en retard à gauche de la figure 40b puis en phase à droite.

Vient ensuite la trace BM en retard (fig. 40c de gauche) puis en phase.

La somme de tous ces signaux mis en phase au moyen du curseur de l'oscilloscope seul et avec une résolution unique de 5 ms/div. apparaît en fig. 40d et est agrandie en fig. 41a. Celle-ci met en évidence une partie des imprécisions de cette approche globale approximative : il est évident que cette trace est perfectible (l'aigu est mal positionné) ; elle a d'ailleurs été améliorée par simple examen visuel et action sur le Δt_A sur la figure 41b. Néanmoins, la résolution donnée par ce type de figure (2 ou 5 ms/div.) est insuffisante pour l'examen d'impulsions aussi larges et il faut procéder à des agrandissements pour atteindre une mise en phase plus précise.

13.4.2 Le fonctionnement temporel du filtre et les faux départs

Les essais décrits en fig. 40 permettent de commenter plus précisément la fig. 37.

Celle-ci a été réalisée avec le repère temporel (repère $t=0$ sur la fig.) et le curseur disponibles sur l'oscilloscope de façon à préciser les ordres de grandeurs utilisés.

Les trois composantes supérieures (A, HM et BM) doivent en effet être centrées sur "l'onde principale" de la figure 40a qui ne débute qu'après un temps $t_{0,EG} \cong 9 \text{ ms}$. C'est la raison pour laquelle

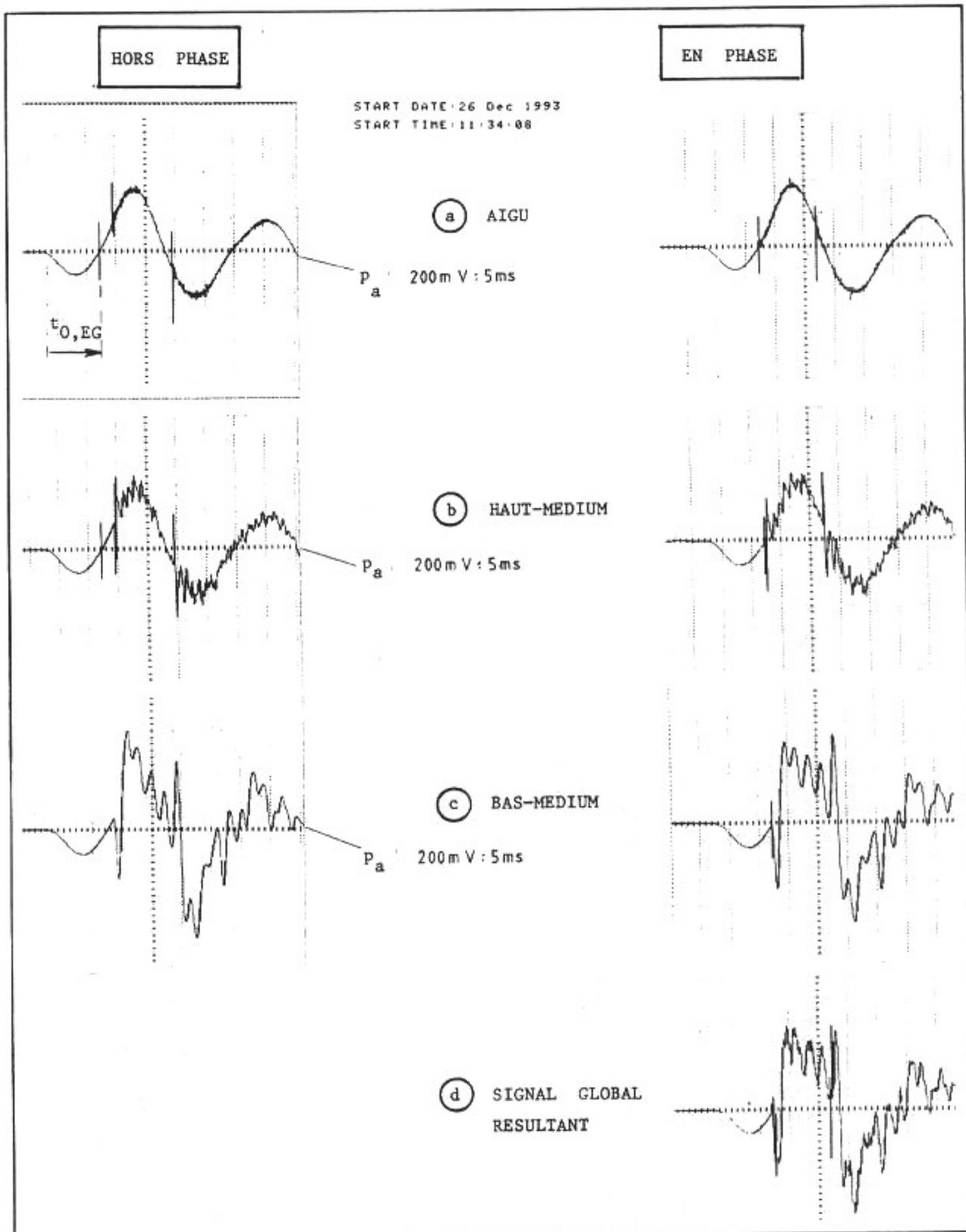


Fig. 40 : Mise en phase approximative des 4 voies par rapport à l'EG sur une impulsion de 10 ms. a) Aigu. b) Haut-médium. c) Bas-médium. d) Signal global résultant.

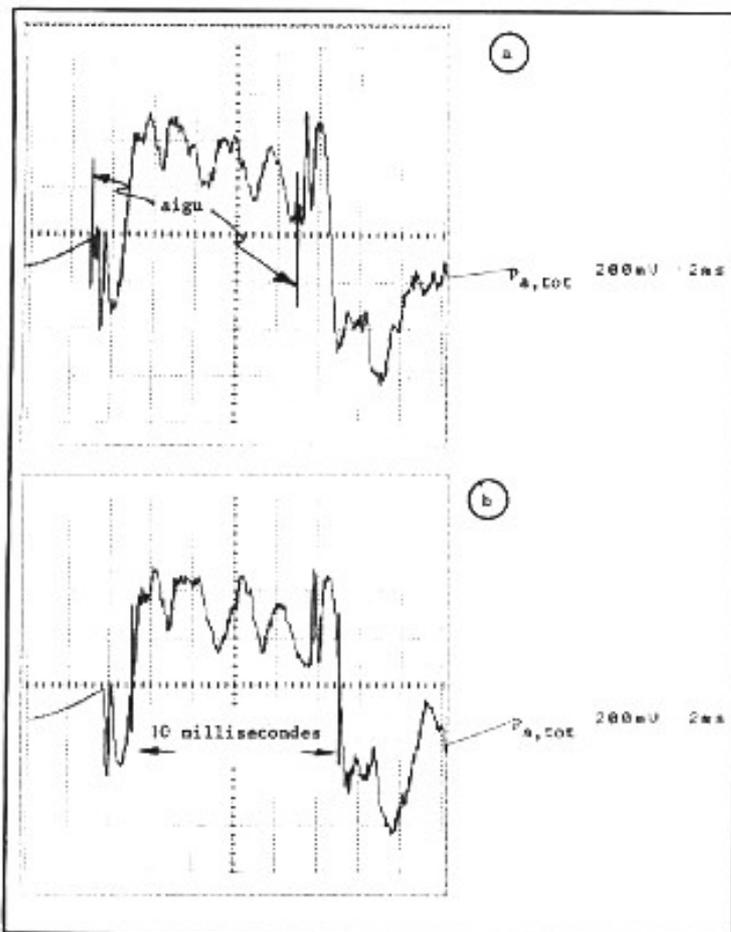


Fig. 41 : Mise en phase approximative des quatre voies sur une impulsion de 10 ms. a) Agrandissement de la fig. 40d : des défauts sont visibles. b) Identique à 40a, mais de légères retouches ont été apportées aux Δt par examen visuel de la trace du dessus.

les trois traces supérieures de la figure 37a sont décalées de 10,415 ms par rapport à l'EG. La figure 37b montre l'écart $\Delta t'_{HM}$ nécessaire pour aligner le transducteur HM sur le transducteur BM.

Les faux départs des transducteurs soumis au filtrage rendent tout calcul de décalage physique pratiquement illusoire, comme l'illustre la fig. 41 bis. La partie a de cette figure illustre ce que devraient être les allures des pressions acoustiques EG et BM si tout était parfait. La valeur de Δt_{BM} à appliquer à l'onde BM pour la centrer sur l'EG est égale à la distance 00_1 . Les points 0 et 0_1 sont respectivement les points de démarrage des ondes EG et BM. Ils ont été reportés sur les traces correspondantes de la fig. 37a. Il est évident que le $\Delta t = 10,415$ ms mentionné en fig. 37a, correspondant à plus de

3 m, ne reflète pas le décalage physique entre transducteurs. Le retour à la fig. 41 bis où les faux départs EG et BM ont été représentés de façon claire permet d'éclaircir le mystère.

Cette fig. 41 bis montre l'allure des pressions acoustiques *effectivement* obtenues compte tenu des faux départs. Elle indique en tout cas qu'en cours de réglage, au lieu de faire coïncider les points 0 et 0_1 comme en fig. a, la procédure correcte est d'aligner les points $0'$ et $0'_1$ qui tiennent compte des faux départs. Et c'est là que les valeurs de $t_{0, EG}$ et $t_{0, BM}$ compliquent tout calcul.

Cette figure b permet, en effet, de comprendre que la valeur $\Delta t'_{BM}$ affichée en fig. 37a (et donc sur l'appareil de filtrage) correspond en fait à une somme de trois termes :

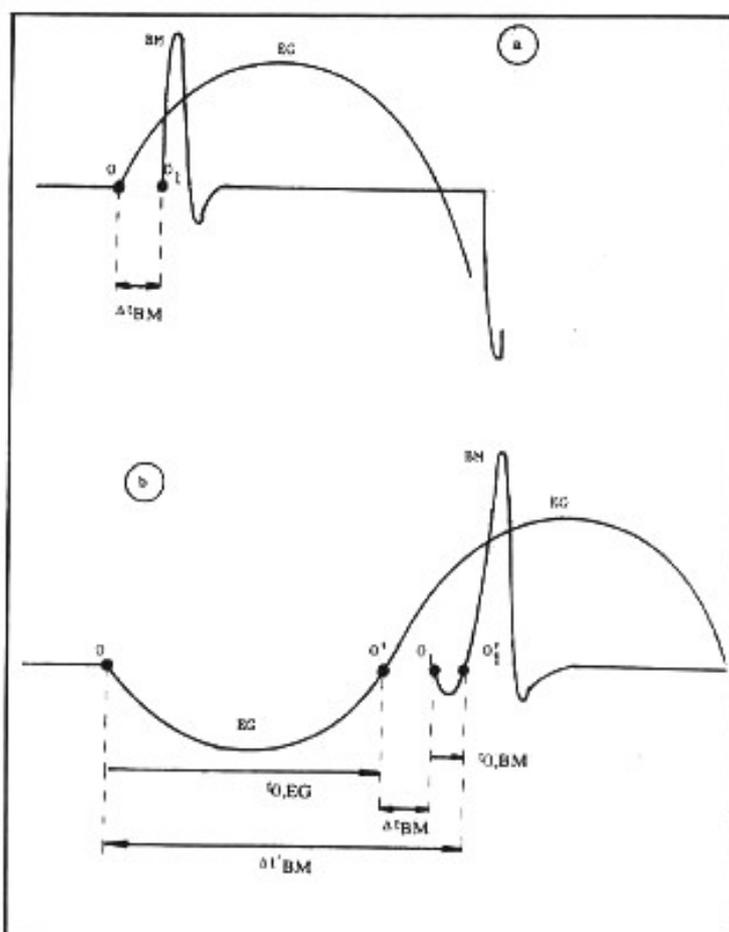


Fig. 41 bis : Les valeurs de Δt et les faux départs. a) sans faux départ. b) avec les faux départs de l'EG et du BM.

$$\Delta t'_{BM} = t_{0, EG} + t_{0, BM} + \Delta t_{BM} = 10,415 \text{ ms} = 9,0 + 1,0 + \Delta t_{BM}$$

Ceci conduit à une valeur réelle approximative

$$\Delta t_{BM} = 0,415 \text{ ms}$$

soit environ 14 cm, ce qui correspond mieux aux dimensions de l'enceinte utilisée !

Le même type de calcul devrait être réalisé pour chaque transducteur pour conduire à des décalages physiques réalistes. Seule le cas de l'aigu paraît relativement simple, comme l'indique la fig. 37c : le décalage A-HM est égal à $\Delta t_{A-HM} = 0,208$ ms. Il y correspond une distance de

$$0,208 (34,4) \approx 7 \text{ cm}$$

c'est bien la distance séparant ces deux transducteurs sur l'enceinte acoustique utilisée.

Annexe 3 [5]

L'impédance

du haut-parleur électrodynamique

A. Aspect théorique

L'équation (4) de 12.7.5 peut s'écrire :

$$Z_{HP} = R_b + j L_b \omega + \frac{1}{\frac{R_A + R_M}{(Bl)^2} + \frac{j}{(Bl)^2} \left(M_A \omega - \frac{1}{C_M \omega} \right)} \quad (5)$$

Le lieu de l'expression du dénominateur

$$\frac{R_A + R_M}{(Bl)^2} + \frac{j}{(Bl)^2} \left(M_A \omega - \frac{1}{C_M \omega} \right) \quad (6)$$

est une droite verticale d dans le plan complexe illustrée en fig. 53a si les termes R_A et R_M sont constants.

L'inverse d'une droite ne passant pas par l'origine (d) est une circonférence passant par l'origine du plan complexe. En négligeant provisoirement le terme $j L_b \omega$, le lieu des points donnés par (5) est donc une circonférence centrée sur l'axe réel mais décalée vers la droite d'une valeur R_b . Elle est dessinée en trait plein en fig. 53b. La circonférence c est l'inverse de la droite d par rapport au point O' .

A 0 Hz, l'impédance vaut $00' = R_b$. Le cercle c est ensuite parcouru dans le sens horlogique jusqu'en O_1 correspondant à la résonance mécanique. Les zones inductives et capacitives sont repérées. A la fin du régime capacitif, le cercle se déforme et passe par O_2 au lieu de O' à cause de l'augmentation de R_A avec la fréquence. Lorsque la fréquence augmente, le terme $j L_b \omega$ prend de l'importance et la courbe en pointillé représentant le vecteur Z s'incurve dans la mesure où l'effet pelliculaire affecte R_b .

Si celui-ci n'existait pas, le terme $j L_b \omega$ donnerait lieu à une tangente verticale en O_2 dessinée en tireté. Avec l'effet pelliculaire, cette verticale devient la courbe en pointillé $j L_b \omega$. Il faut remarquer enfin que l'aspect circulaire de la fonction $Z_{HP}(\omega)$ ne couvre qu'une région restreinte de fonctionnement aux alentours de la résonance.

B. Approche analytique

Celle-ci est décrite de façon très complète par la fig. 30.

Il faut rappeler que la fig. 30a a été relevée point par point avec les repères temporels disponibles sur l'oscilloscope. Ce graphisme est donc forcément entaché d'erreurs dues à la méthode de mesure un peu rustique...

La partie b de cette figure, concernant l'évolution du module $|Z|$ présente une allure des plus classiques avec une résonance à 100 Hz.

L'examen simultané de la représentation polaire de

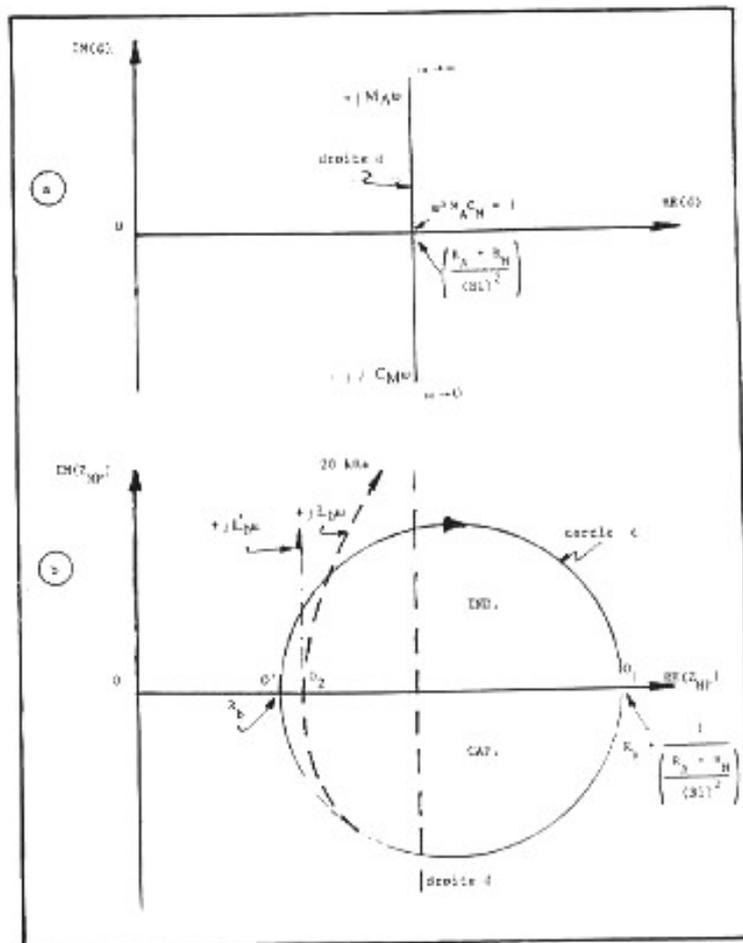


Fig. 53 : a) La droite dans le plan complexe et son inverse. b) L'impédance du transducteur électrodynamique dans ce même plan.

droite avec les deux zones de fonctionnement capacitif (I_{HP} en avance sur V_{amp}) et inductif (I_{HP} en retard sur V_{amp}) permet d'ajouter une information sur le type de fonctionnement affiché par la fig. b : les régions montantes de la courbe correspondent à des régimes inductifs car la partie imaginaire de l'impédance est du type $+jX$.

A l'opposé, la partie descendante de la courbe $|Z|$ correspond à un fonctionnement capacitif vu de V_{amp} car le terme imaginaire résultant est du type $-jX$. Cet aspect dichotomique de l'impédance du HP électrodynamique est approfondi ci-dessous.

Les parties horizontales de la courbe $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$ correspondent à des fonctionnements résistifs ($f_r = 100$ Hz et de 200 à 630 Hz approximativement).

Le maximum RES et les minima MIN1 et MIN2 de cette courbe correspondent aux points où la dérivée $\frac{d|Z|}{df}$ est égale à zéro.

Le calcul de ces extrema n'est pas aisé car le terme résistif R_A varie fortement avec la fréquence. Il faut remarquer en passant que, contrairement aux circuits oscillants électriques où la résonance correspond à des

conditions où $Z=Z_{\min}$ et $I=I_{\max}$, la résonance du haut-parleur correspond à $Z=Z_{\max}$ et donc $I=I_{\min}$.

Cette résonance est en fait une résonance *mécanique* due au fait que la somme (Z_A+Z_M) passe par un minimum dans l'équation (4) de 12.7.5.

Celle-ci peut en effet s'écrire de façon plus explicite

$$Z_{HP} = R_b + j L_b \omega + \frac{(Bl)^2}{R_A + R_M + j \left(M_A \omega - \frac{1}{C_M \omega} \right)} \quad (7)$$

avec $R_A=R_A(\omega)$ = résistance acoustique, fortement dépendante de ω ; R_M = résistance mécanique de la suspension = constante; M_A = masse totale de l'équipage mobile et de l'air déplacé; C_M = compliance mécanique de la suspension du cône au saladier; Bl = facteur de force.

La résonance mécanique du HP sera atteinte lorsque

$$M_A \omega_r - \frac{1}{C_M \omega_r} = 0$$

c'est-à-dire à $f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{M_A C_M}$ et, à cette fréquence, cette impédance vaut

$$Z_{HP, rés} = R_b + \frac{(Bl)^2}{R_A + R_M} + j L_b \omega_r \cong R_b + \frac{(Bl)^2}{R_A + R_M}$$

où le terme résistif est nettement prépondérant car à f_r , le terme $L_b \omega_r$ est très petit, tout au moins pour des HP à cône mobile qui ne sont pas des HP d'aigu.

En posant

$$K(\omega) = \frac{1}{R_M^2 + R_A^2(\omega) + M_A^2 \omega^2 + \frac{1}{C_M^2 \omega^2} - 2 \frac{M_A}{C_M}}$$

l'équation (7) peut encore s'explicitier, en multipliant haut et bas le deuxième terme par le complexe

conjugué de (Z_A+Z_M) :

$$Z_{HP} = R_b + j L_b \omega + K(\omega) (Bl)^2 (Z_A+Z_M)^* = R_b + j L_b \omega + K(\omega) (Bl)^2 \left[R_A(\omega) + R_M + j \left(\frac{1}{C_M \omega} - M_A \omega \right) \right] \quad (8)$$

Le terme réel $K(\omega)$ croît avec ω jusqu'à ω_r puis redevient nul lorsque la fréquence augmente. Il est déjà négligeable dans ce cas vers 300 Hz. L'allure de la courbe $K(\omega)$ est très semblable à celle de $|Z|$ aux environs de la résonance.

L'écriture (8) fait apparaître le rôle de "transformateur électromécanique" de rapport Bl qu'est l'entrefer puisque les impédances mécaniques (Z_A+Z_M) du côté 2 doivent être multipliées par $(Bl)^2$ lorsqu'elles sont vues du côté 1 (électrique, voir figure 29).

Cette relation (8) met également en évidence le caractère gyrateur (1) du HP électrodynamique puisque :

- une inductance du côté 2 ($+j M_A \omega$ est transformée en réactance de type capacitif du côté 1 ($-j M_A \omega$). Le lecteur remarquera cependant que cette réactance de type capacitif croît avec la fréquence contrairement à une véritable capacitance ;

- une capacité du côté 2 ($-j/C_M \omega$) est transformée en réactance de type inductif du côté 1 ($+j/C_M \omega$). De façon duale, cette réactance de type inductif décroît avec la fréquence à l'inverse d'une inductance véritable.

Les différents termes de (8) sont séparés dans le tableau suivant de façon à mettre en évidence leur entrée en jeu en fonction de ω :

Dans ce tableau

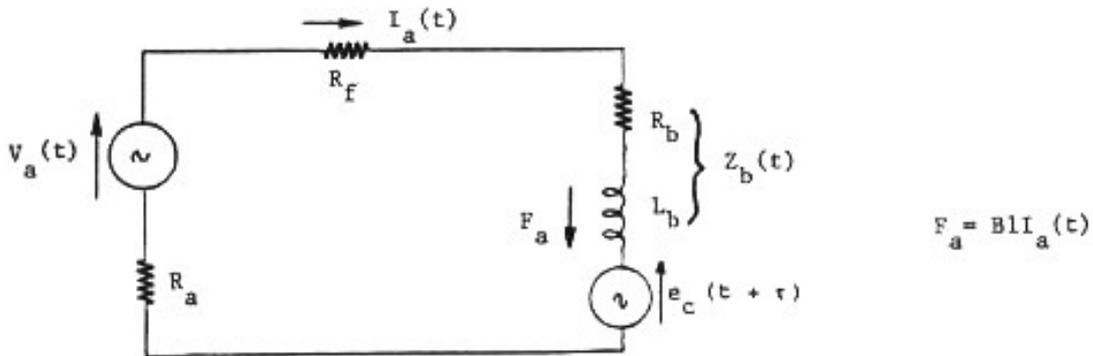
- Le terme $R_0=R_b$ est constant et égal à la résistance cc de la bobine.

| COMPOSANTES DE $Z_{HP} = R_i + jX_i$ | | FONCTIONNEMENT | ZONES SUR FIG. 30b ET 30c | |
|---|-------|--|---------------------------|---|
| R_b | R_0 | résistif cc bobine mobile | MIN1 | 0 |
| $R_1 + j \frac{K(\omega) (Bl)^2}{C_M \omega}$ | X_1 | inductif mécanique | IND1 | 1 |
| $R_2 + K(\omega) (Bl)^2 (R_M + R_A)$ | R_2 | résistif mécanique (résonance) | RES | 2 |
| $R_3 - j K(\omega) (Bl)^2 M_A \omega$ | X_3 | capacitif mécanique | CAP | 3 |
| $R_4 + j L_b \omega$ | X_4 | inductif électrique (bobine mobile) | IND2 | 4 |

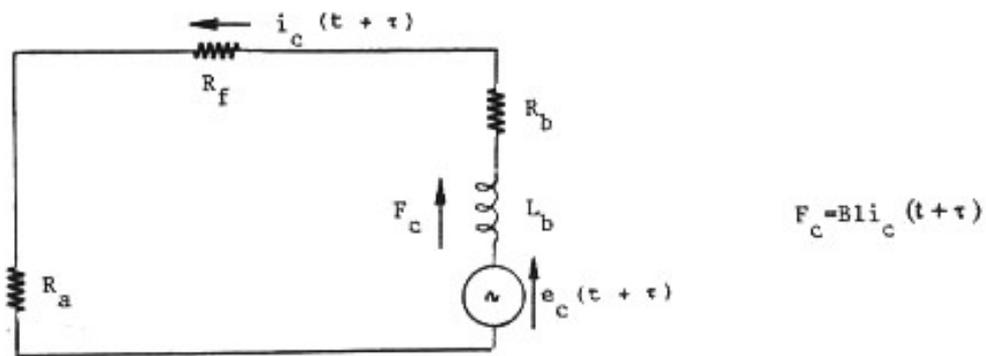
Amplificateur Haut-parleur



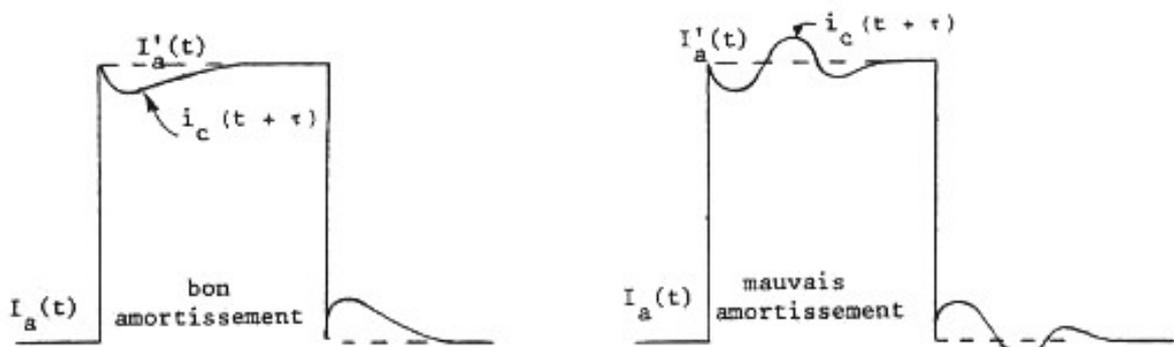
a) Circuit constitué d'un amplificateur, un fil et un HP



b) Schéma équivalent électromécanique du circuit de la figure a



c) Schéma équivalent où l'amplificateur de puissance a été passifié pour l'examen des effets de $e_c(t + \tau)$. (Principe de superposition)



d) Image temporelle de $I_a(t)$ et de ses composantes I'_a et i_c lors de l'application d'une impulsion au HP.

Fig. 54 : La notion d'amortissement d'un haut-parleur. a) Circuit constitué d'un amplificateur, un fil et un HP. b) Schéma équivalent électromécanique du circuit de la fig. a. c) Schéma équivalent où l'amplificateur de puissance a été passifié pour l'examen des effets de $i_c(t + \tau)$ (principe de superposition). d) Image temporelle de $I_a(t)$ et de ses composantes I'_a et i_c lors de l'application d'une impulsion au HP.

• L'impédance $R_1 + j \frac{K(\omega)(Bl)^2}{C_M \omega}$ (d'origine méca-

nique) est inductive et correspond à la zone IND1 de la fig. 30b. La fig. 30c montre que le terme R_1 croît avec ω tandis que X_1 diminue au voisinage de ω_r (voir le vecteur $R_1 + j X_1$).

• L'impédance résistive $R_2 = R_b + K(\omega)(Bl)^2 (R_M + R_A)$ correspond aux conditions de résonance mécanique du transducteur décrites ci-dessus.

• Après le passage par la résonance, une zone capacitive s'observe sur la fig. 30c correspondant à $R_3 - j X_3 = R_3 - j K(\omega)(Bl)^2 M_A \omega$ et à la région CAP sur la fig. 30b.

• Enfin, loin de la résonance mécanique ($\omega \gg \omega_r$), l'impédance électrique $R_4 + j X_4 = R_b + j L_b \omega$ (fig. 30c) prend le relais et donne lieu à la dernière région IND2 de la fig. 30b. Il y prévaut une inductance d'origine purement électrique.

L'augmentation de résistance de R_0 à R_4 s'explique par

- l'augmentation de $R_A(\omega)$ avec la fréquence ;
- l'effet pelliculaire.

Annexe 4

De l'importance d'un bon facteur d'amortissement

Celui-ci est défini comme le rapport $\frac{R_{HP}}{R_a}$ à une

fréquence donnée et atteint facilement 100 avec des amplificateurs à faible résistance de sortie ($R_a = \dots 0,08 \Omega \dots$) sur des HP de 8Ω . Cette faible résistance R_a , combinée à une faible résistance des fils R_f , contribue à un bon amortissement des mouvements indésirables du cône dus à la f.c.e.m. de Lenz.

Le circuit extrêmement simple de la fig. 54a sera utilisé comme support de raisonnement.

La fig. 54b montre le schéma équivalent de l'ensemble amplificateur + fils + HP. L'amplificateur délivre au circuit un courant $I_a(t)$ sous une tension $V_a(t)$. La bobine mobile, d'impédance $Z_b(t)$, se met en mouvement sous l'effet de la force $F_a = Bl I_a(t)$ engendrée dans l'entrefer. Ce mouvement, dans le sens positif de $I_a(t)$ (flèche), engendre une f.c.e.m.

$$e_c(t+\tau) = -L_b(t) \left(\frac{d\Phi}{dt} \right)$$

qui s'oppose aux variations de $I_a(t)$ avec un certain retard τ . Φ est le flux dans l'entrefer.

L'examen de la fig. 54b permet d'écrire

$$V_a(t) = (R_a + R_f) I_a(t) + Z_b(t) I_a(t) + e_c(t+\tau)$$

c'est-à-dire :

$$\begin{aligned} I_a(t) &= \frac{V_a(t) - e_c(t+\tau)}{R_a + R_f + Z_b(t)} = \frac{V_a(t)}{Z_{tot}(t)} - \frac{e_c(t+\tau)}{Z_{tot}(t)} \\ &= I_a'(t) + i_c(t+\tau) \end{aligned}$$

où il est clair que la f.c.e.m. e_c s'oppose à la tension appliquée V_a avec un certain retard τ .

Cette écriture permet, d'autre part, de décomposer $I_a(t)$ en deux composantes :

- $I_a'(t)$ en l'absence de f.c.e.m. de Lenz,
- $i_c(t+\tau)$ dû à la f.c.e.m. de Lenz, de sens opposé à $I_a'(t)$.

Mais le courant $i_c(t+\tau)$ dû à cette f.c.e.m. $e_c(t+\tau)$ du circuit va créer dans la bobine mobile une seconde force $F_c = Bl i_c$ s'opposant au courant i_c qui lui a donné naissance... et donc amortissant les mouvements parasites de la bobine mobile d'autant mieux que $(R_a + R_f)$ est faible (l'idéal étant zéro, de la même façon qu'un court-circuit aux bornes d'un galvanomètre à cadre mobile amortit les mouvements de son aiguille). La fig. 54c, où l'amplificateur a été passifié, permet de visualiser ce phénomène.

La fig. 54d, illustrant l'application d'une impulsion à un HP, montre effectivement que toute variation brusque du courant $I_a(t)$ dans le fil du HP est suivie d'une variation en sens contraire $i_c(t+\tau)$ en retard et bien amortie dans le cas d'une chaîne multi-amplifiée et de bons coefficients d'amortissement. Un mauvais coefficient d'amortissement pourrait donner par exemple un résultat du type illustré sur la partie droite de la fig. 54d : l'oscillation due à $i_c(t+\tau)$ s'amortit plus difficilement.

Le terme "amortissement" d'un système électrodynamique tel qu'un HP ne s'appréhende pas de la même façon que l'amortissement d'un circuit purement électrique (qui augmenterait avec les résistances R_a et R_f) : ceci est dû à la nature "active" du quadripôle électromécanique qu'est le HP : il engendre un f.c.e.m. interne $e_c(t+\tau)$ lors de son mouvement. Les constructeurs d'électronique l'ont bien compris, qui s'évertuent à créer des amplificateurs de puissance à très faible résistance de sortie.

À la lumière de ce qui vient d'être dit, le lecteur comprendra que l'adjonction à la fig. 54b d'une cellule de filtrage passif (constituée d'inductances, de capacités... pour filtrer un H.P. à -18 dB/oct.) située entre le fil et le H.P. ne peut que détériorer l'amortissement (et en compliquer singulièrement l'analyse...). Il est tout aussi inadéquat de tenter d'augmenter l'amortissement d'un HP par l'insertion d'une résistance série dans le circuit de la fig. 54a.

(¹) Un gyrateur est un dispositif transformant une inductance en une capacité et vice-versa. Un gyrateur électronique est extrêmement facile à réaliser au moyen d'amplificateurs opérationnels, d'inductances et de capacités.

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

REFLEXIONS SUR LA MUSICALITE DES AMPLIFICATEURS OU LES LEÇONS DU CABLE...

E

Pierre Johannet

*Entre tous les fantômes qui hantent le domaine de la Haute-Fidélité, deux apparaissent comme particulièrement vivaces et remuants : la sonorité des câbles et la musicalité des amplificateurs. Ces deux "démons" - au sens de Maxwell - n'ont pas que des aspects négatifs, puisqu'on leur doit la merveilleuse diversité de production de câbles de tous types et d'amplificateurs de tous poils !
L'hypothèse que nous proposons ici - hypothèse d'école s'il en est - est qu'il existe cependant un lien de famille entre ces deux fantômes, et que ce lien pourrait bien s'appeler Mémoire des Isolants.*

Lorsque furent émises, au début des années 70, les premières remarques concernant les différences de musicalité des câbles, on assista à une levée de boucliers dans le camp des physiciens "conformes" - voire conformistes... Les plus rapides démontrèrent que les différences de résistance entre câbles étaient parfaitement négligeables vis-à-vis des enceintes, les plus vertueux assurant, équations de propa-

gation en mains, que les affaiblissements étaient trop faibles pour être perceptibles. Mais les Audiophiles persistèrent, tel Galilée en son temps, à dire : "Et pourtant, elles existent !" (sous-entendus : les différences de musicalité).

Ceci fit bien sûr l'affaire d'astucieux fabricants qui, voyant un vide à combler, s'empressèrent de le remplir avec des dizaines de modèles de câbles de tous types et de

toutes couleurs : câbles secteur, liaison, enceintes, etc., pour assouvir les désirs d'éternel insatisfait qu'est cet Audiophile au portefeuille tant convoité...

Pour les amplificateurs, les différences de sonorité perçues paraissaient plus rationnelles. En effet, les paramètres entrant dans la conception et la fabrication d'un appareil sont si nombreux qu'il peut paraître "naturel" qu'en bout

de chaîne on n'entende pas la même chose. Le conflit "tubes-transistors" est un des plus beaux exemples en la matière...

Un écueil toutefois subsiste : il n'existe pas de réelle corrélation entre les mesures classiques, en fait celles que l'on sait faire actuellement, et la musicalité d'un amplificateur, le contre-exemple le plus flagrant étant celui du monotriode 300 B dont les caractéristiques sont bien inférieures à n'importe quel ampli extrême-oriental acheté en grande surface...

C'est pourtant lui qu'écoutent chez eux les P.D.-G. de ces mêmes sociétés, quand il ne sert pas de référence subjective à leur bureau d'études... A ce stade, on nous objectera : "Oui, certes, mais en ce qui concerne les enceintes, ces différences ne sont-elles pas encore plus considérables ?"

Une longue pratique de la Haute-Fidélité montre cependant que pour des enceintes dignes de ce nom, ce qui exclut les mini-enceintes des mini-chaînes au minison, et pour un niveau d'écoute domestique raisonnable, les différences perçues s'expriment plus en termes de "style" qu'en termes de musicalité pure, ceci bien sûr si l'on reste à des niveaux d'écoute modérés : à très faibles niveaux, les micro-enceintes que constituent les casques Haute-Fidélité frôlent la perfection, pour beaucoup d'entre eux.

Un point à souligner, toutefois : après 70 ans de techniques électro-acoustiques, aucune technologie n'a vraiment réussi à s'imposer : haut-parleurs électrostatiques, électrodynamiques, à chambres de compression coexistent toujours plus ou moins pacifiquement. En particulier, aucun système de filtrage ne s'est montré décisif : passif, actif, 6 dB, 12 dB, 18 dB, etc., malgré pourtant des différences marquées aux mesures.

Que conclure de tout ceci : que les enceintes, dans un "bon" système, ne sont pas un paramètre

critique : les différences de sonorité d'enceintes sont du même ordre que les différences de sonorité entre deux pianos ou deux violons alors que, pour les câbles et les amplis, on pourra presque toujours dire "qu'un tel est meilleur que tel autre" - ou plus mauvais, selon le cas.

L'enseignement du câble

Lorsque nous avons commencé les études sur les câbles de haut-parleurs [1 à 4], la première et plus solide hypothèse concernant la musicalité était l'hypothèse des contacts entre brins élémentaires. Cette théorie était très séduisante, car permettant d'expliquer la plupart des phénomènes rencontrés : apparition de distorsion variable en fonction du niveau, influence des contraintes mécaniques subies par le câble, apport de l'argenture ou de la dorure des brins élémentaires.

Le premier prototype de câble réalisé, en réunissant simplement des brins isolés individuellement, nous a cependant quelque peu déçus : l'amélioration était nette, mais non concluante.

Nous avons en réserve une hypothèse dont l'effet apparaissait au départ comme du second ordre vis-à-vis des contacts entre brins : celui de la mémoire des isolants ou, plus globalement, celui du comportement complexe des diélectriques. Effectivement, le seul fait de séparer les brins "aller" (ou +) des brins "retour" (ou -) allait apporter une amélioration immédiate et décisive.

Cette configuration allait être concrétisée par la réalisation du câble "type PTT" [3], actuellement mis en œuvre par de nombreux Audiophiles et utilisé sur des chaînes de haut niveau.

Une deuxième étape allait être franchie sous la forme d'un détournement du câble Flatline de sa destination initiale (celle de câble HP)

vers un rôle de câble de liaison dans lequel il excelle : le Téflon qui lui sert d'isolant est un diélectrique à faible mémoire qui apporte peu de coloration au signal transmis. Une protection ultime contre les perturbations rayonnées allait être simplement réalisée par un ressort à boudin (type traction) en acier magnétique raccordé à la masse côté source [4].

Le Câble à Polarisation d'Isolant

Lorsque nous avons évoqué [2] la possibilité de polariser par une tension continue les isolants des câbles (HP ou liaison), cette hypothèse pouvait être qualifiée d'"Hypothèse d'école", tant les effets attendus auraient dû être du second ordre ; or l'influence en a été parfaitement audible, au bout d'un temps assez long toutefois... Ceci n'est pas surprenant : certaines constantes de temps des diélectriques atteignent facilement 10^3 à 10^6 secondes...

• **Les câbles de liaison** : nous avons appliqué la tension d'une pile de 9 V entre la masse du pré-ampli et le ressort de blindage du cordon de liaison situé entre le pré-ampli et l'ampli de notre installation (fig. 1), un condensateur de 2,2 μ F étant installé aux bornes de la pile pour en diminuer l'impédance interne en haute fréquence et maintenir ainsi pour le blindage son rôle d'écran.

L'amélioration est assez rapidement sensible dans le grave, au bout d'une à deux heures, et s'étend à tout le spectre au bout de quelques jours : la patience est une vertu audiophile...

• **Les câbles de haut-parleurs** : nous avons profité de l'existence d'un écran sur le câble PTT pour effectuer une polarisation statique des isolants, également par l'intermédiaire d'une pile de 9 V (fig. 2). Cette pile est simplement connectée entre les deux écrans aluminium de chaque câble par

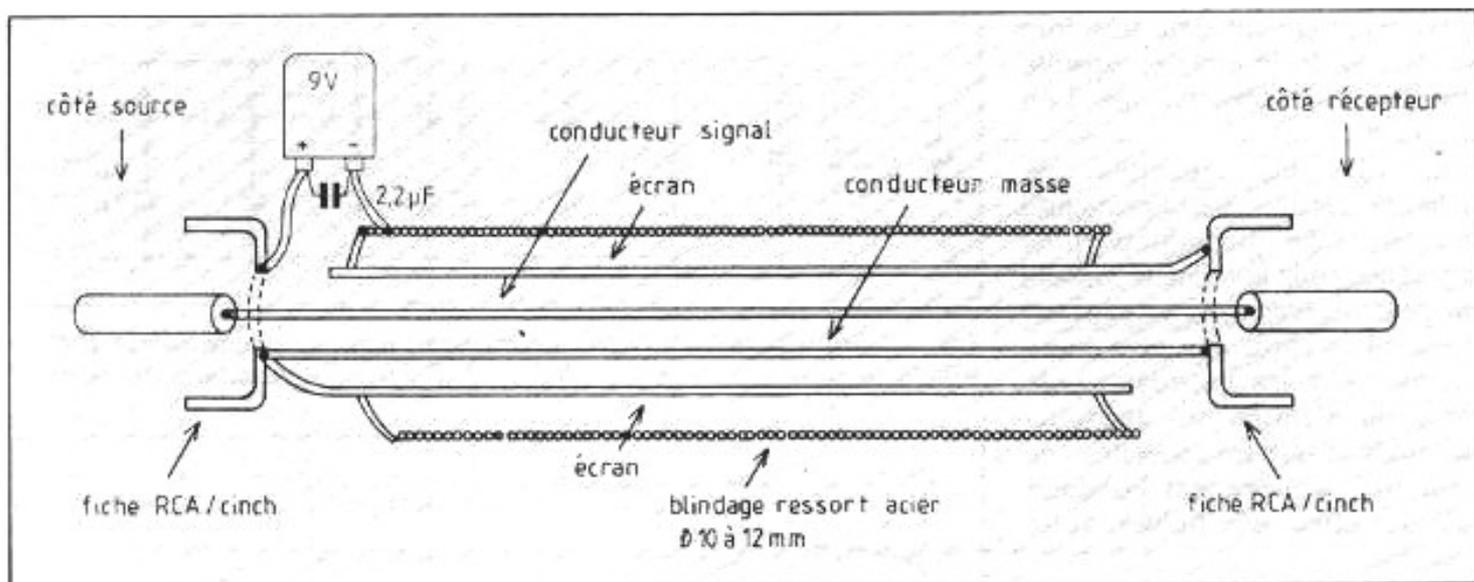


Fig. 1 : Schéma de principe du câble Flatline blindé bas niveaux avec polarisation des isolants par pile 9 V.

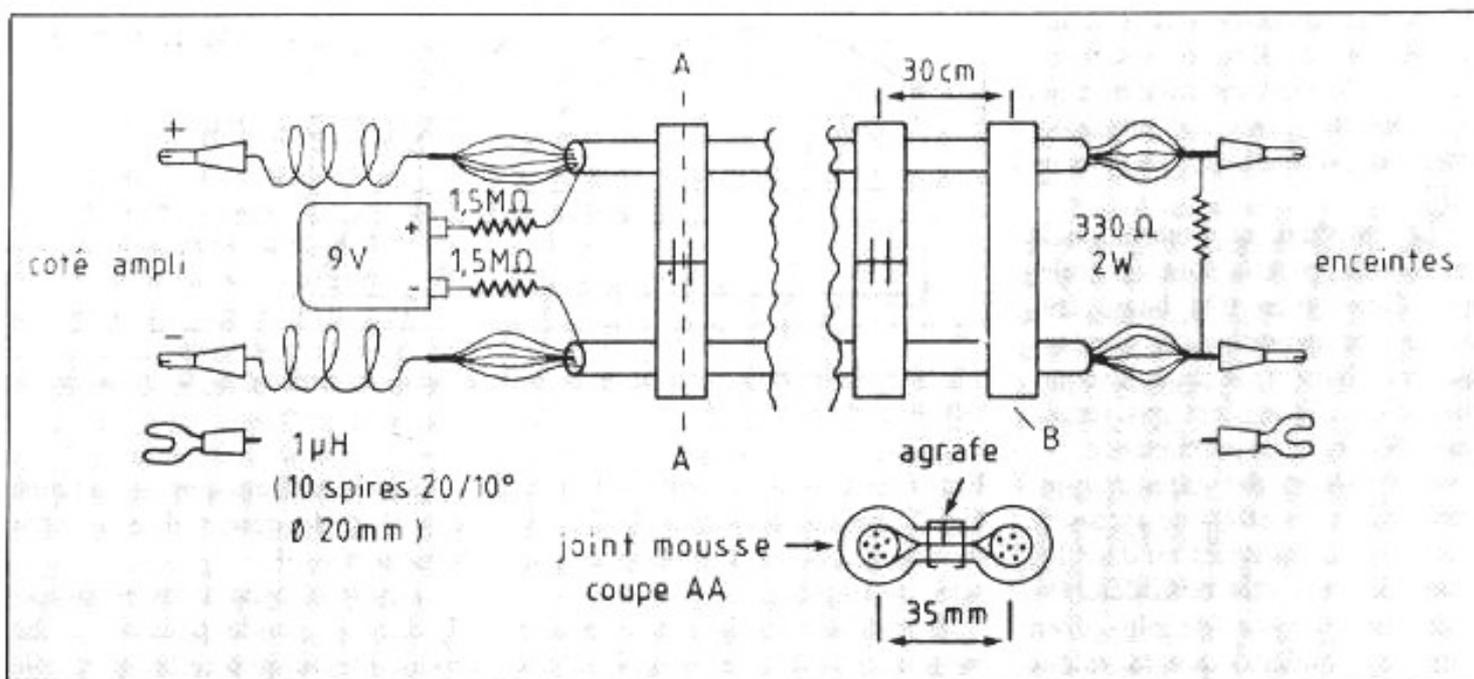


Fig. 2 : Câble type PTT avec polarisation d'isolant. Les deux écrans des câbles sont reliés à une pile 9 V par deux résistances de 1,5 MΩ (entre 1 et 2,2 MΩ). La pile peut être raccordée côté ampli ou côté enceinte indifféremment.

l'intermédiaire de résistances de 1 à 2,2 MΩ pour éviter de court-circuiter les capacités équivalentes de chaque câble, ce qui équivaldrait à les mettre en contact. A noter que l'on peut essayer deux piles en série, soit 18 V, sans inconvénients (voire plus...).

Ici aussi, l'amélioration a été nette, quoi qu'il faille attendre plus de 24 heures pour que cet effet soit sensible : il est alors très sensible..

Remarque

Toutes précautions doivent être prises dans le câblage : l'auteur décline toute responsabilité envers ceux qui auraient injecté 9 V dans leur ampli ou leurs enceintes !

• Que conclure de ces essais ? A ce stade, le lecteur rationnel est en droit de s'interroger... En fait, cet effet de "polarisation" des isolants est inexplicable si l'on se limite à une conception simple, voire simpliste des isolants.

A la lumière de ces expériences, ceux-ci confirment pourtant bien leur rôle extrêmement complexe autant que fondamental dans la musicalité d'un système.

Retour sur les isolants et autres condensateurs

Dans un précédent article [3], nous avons mis en évidence les effets de mémoire des isolants qui montraient que les schémas

équivalents étaient déjà très loin (cf. fig. 3) de la simple capacité plus ou moins résistive que l'on imaginait.

En fait, les capacités "de mémoire" cachées dans la structure peuvent être beaucoup plus importantes que la capacité initiale. On peut objecter que la capacité globale d'un câble se trouve court-circuitée par les impédances de sortie ou d'entrée des appareils raccordés et que les capacités "de mémoire" ne peuvent conduire qu'à des effets très faibles, voire inaudibles.

On doit en fait tenir compte des faits suivants :

- L'oreille présente une sensibilité **extraordinaire** aux signaux parasites avec effets de retard ou d'écho : c'est un intéressant sujet de recherche pour les physiologistes qui devront bien l'aborder un jour !

- Les impédances d'entrée ou de sortie des appareils sont généralement élevées en très basse fréquence, par utilisation des condensateurs de liaison : la capacité équivalente du câble n'est pas forcément déchargée en permanence.

- Les valeurs des capacités qui représentent les effets de mémoire dans les condensateurs ou dans les câbles peuvent être considérablement plus élevées (de plus d'un ordre de grandeur) que la valeur nominale de la capacité initiale.

- Les capacités de mémoire peuvent se décharger spontanément et aléatoirement par contrainte thermique, choc ou vibrations (éventuellement sonores).

Il est très significatif de comparer le classement audiophile des technologies de condensateurs et la sensibilité des différents diélectriques à l'effet de mémoire (fig. 4).

On voit que le Téflon pourrait constituer le diélectrique quasi-idéal, ce qui se vérifie largement avec le câble Flatline qui l'utilise. Il existe bien une gamme de condensateurs Téflon chez

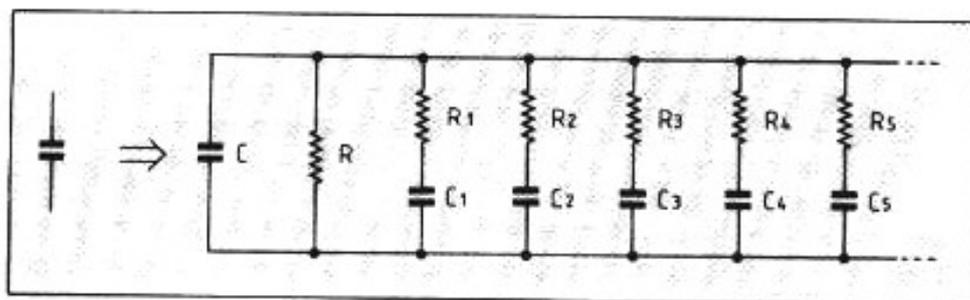


Fig. 3 : Modélisation de l'effet de mémoire dans un condensateur $R C_1 =$ principale constante de temps ; $R C_2 \dots R C_5 =$ autres constantes de temps.

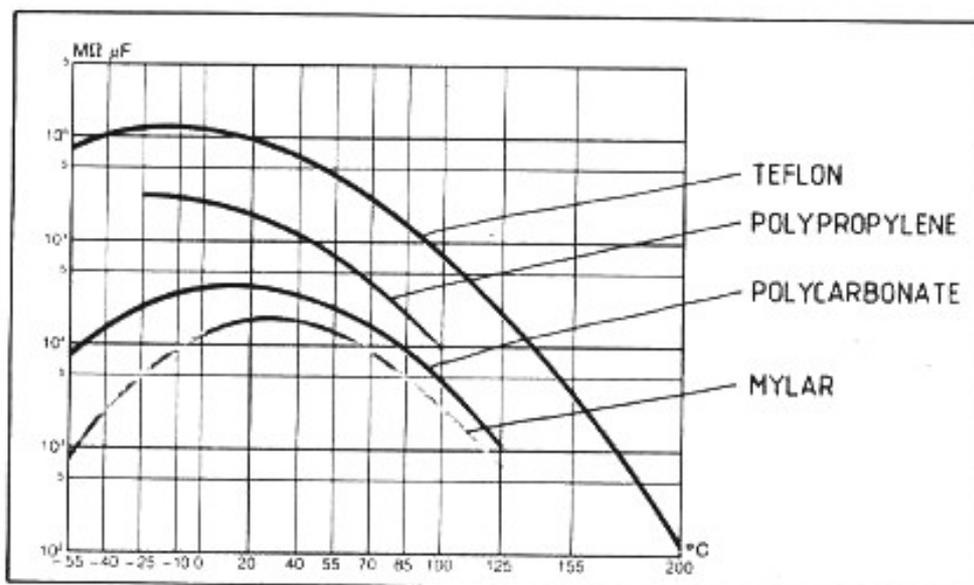


Fig. 4 : Variation de la résistance d'isolement en fonction de la température (document Eurofarad).

Eurofarad, mais le prix est très élevé : un condensateur de $2,2 \mu F$ revient à 2 200 F l'unité pour une série de 10 pièces...

Il reste à examiner dans quelle mesure cet effet de mémoire dans les diélectriques peut influencer sur la musicalité des amplificateurs.

Retour sur la musicalité des amplificateurs

Les théoriciens purs et durs de la Haute-Fidélité, voire membres de l'AES (1), qui considèrent au mieux les Audiophiles comme de doux maniaques, font souvent référence à l'expérience fameuse de Quad (fig. 5) analysée par Baxandall [5] pour démontrer la perfection finale de sa production : on effectue la différence de deux signaux :

- l'un transitant par une chaîne complète, de gain réduit à 1 par diviseur résistif ;

- l'autre transitant par un simple fil, dont la bande passante a été rendue identique à celle de la voie active par système Résistances-Capacités.

Un même signal est envoyé sur les deux voies : l'expérience montre (?) que le signal constituant la différence des signaux en sortie est nul, au bruit près. Il semble en fait que toutes les garanties n'aient pas été prises, et cette expérience mériterait d'être refaite avec les moyens modernes aujourd'hui disponibles.

Cette expérience est cependant fort troublante et n'est pas du genre à pouvoir être écartée d'un revers de main. En fait, un certain nombre d'objections peuvent être formulées :

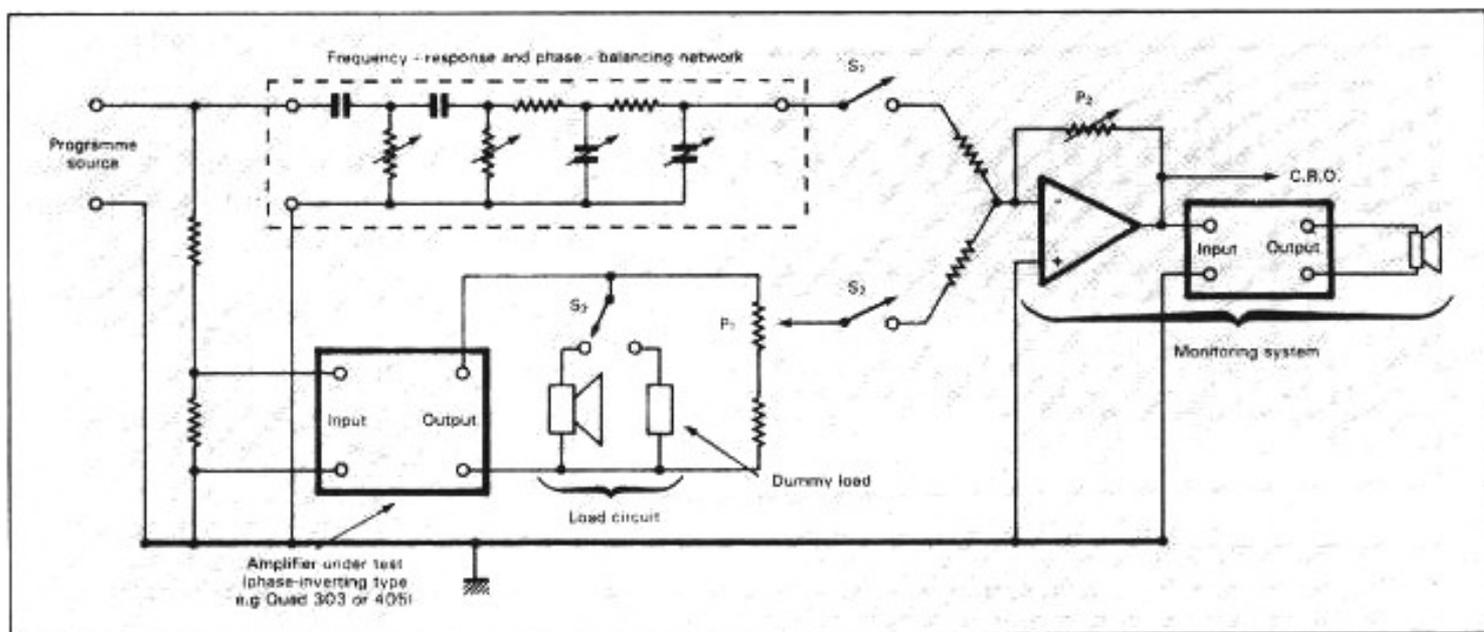


Fig. 5 : Comparaison Ampli-Fil droit fait par la firme Quad et analysée par Baxandall [5]. Le "fil droit" est loin d'être un puisqu'il ne comporte pas moins de 4 capacités et 4 résistances !

• Si l'on interprète immédiatement les résultats de l'expérience, tous les amplificateurs (et leurs équivalents des autres marques) auraient dû présenter la perfection déjà à l'époque de l'expérience sans perspective d'évolution. C'est justement l'inverse que l'on constate tous les jours : les moindres tests subjectifs montrent des différences appréciables entre amplificateurs, même venant d'un même constructeur. On peut en conclure que si une telle expérience ne montre aucune différence, c'est justement parce qu'elle n'est pas significative...

• Plus concrètement, le point faible de l'expérience nous semble résider dans les composants passifs (y compris le "fil" lui-même) utilisés dans la voie passive : c'est **probablement par eux que la musicalité s'est trouvée réduite et ce, de manière équivalente sur les deux voies.** L'importance capitale et reconnue des composants passifs est pourtant fondamentale et apparaît comme complètement négligée dans cette expérience. Pour prendre une équivalence mécanique, on pourrait dire que l'on a cherché la différence de

poinds entre deux plumes en rajoutant 1 kg dans chaque plateau de la balance !

L'expérience d'Héphaïstos et la Distorsion Thermique

Rappelons l'essentiel de la théorie de la Distorsion Thermique telle qu'elle a été formulée par Héphaïstos et développée dans de nombreux articles de cette revue.

Dans un amplificateur, les signaux de grande amplitude, souvent associés aux basses fréquences, produisent des échauffements au sein des semi-conducteurs et en modifient les caractéristiques, en particulier le gain, d'où une modification permanente des caractéristiques et des points de fonctionnement des semi-conducteurs.

Le phénomène est aggravé en quelque sorte par la contre-réaction qui cherche à compenser ces effets, d'où une nouvelle modification des points de fonctionnement.

Le résultat en est une espèce de "gigue" (ou jitter en langage pré-toubonnien) à laquelle l'oreille se montre particulièrement sensible. Pour la mettre en évidence, Hé-

phaïstos a réalisé le montage de la fig. 6 (*L'Audiophile* N.S. n° 27).

Malgré un soin tout particulier, le montage n'a pas mis en évidence de distorsion non linéaire, ce qui ne voulait pas du tout dire qu'il n'y avait pas non plus de distorsion linéaire, ce que nous examinerons dans la suite.

Une nouvelle tentative la Méthode Différentielle

Pour l'Audiophile, tout comme pour l'industriel (quoi que ce dernier finisse par se satisfaire d'un certain flou artistique...), il est très déprimant de ne disposer actuellement d'aucune mesure permettant de juger de façon sûre la musicalité d'un amplificateur. Les mesures classiques permettent bien au concepteur d'éviter des catastrophes, mais il reste pratiquement impossible de classer en termes de musicalité deux amplificateurs dont on ne dispose que des résultats de mesures (mesures classiques pour le moment...).

Il est très intéressant d'essayer par exemple de comparer les mesures telles qu'elles sont publiées dans *La Nouvelle Revue*

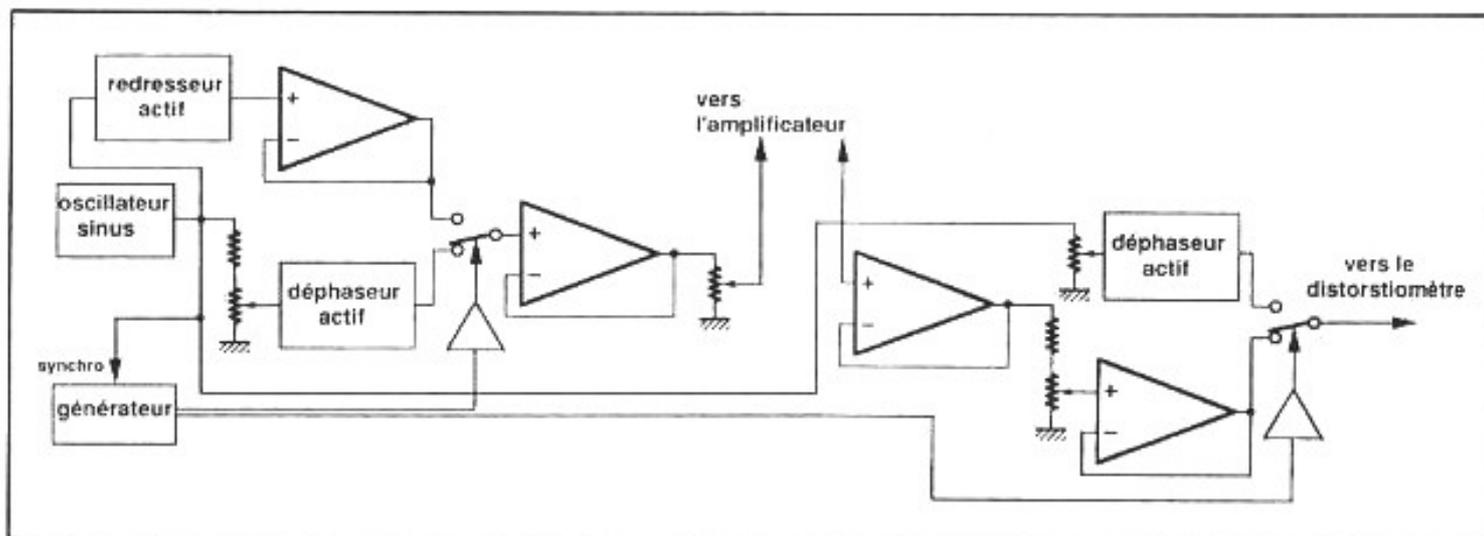


Fig. 6 : Distorsiomètre d'Héphaïstos destiné à la chasse de la Distorsion Thermique. Son résultat provisoirement négatif tendrait-il à prouver qu'on se trouve en présence de distorsion linéaire ?

du Son ou d'autres revues françaises, ou même dans des revues anglaises telles que *HiFi News* ou *HiFi Choice* où ces mesures sont particulièrement sophistiquées, avec les résultats d'écoute subjectifs : il n'y a en pratique aucune corrélation.

On peut bien sûr trouver des amplis très musicaux ayant de très bonnes mesures, comme le JH 60, mais il est possible d'en trouver de "presque aussi bons" ayant des caractéristiques en distorsion, bande passante, intermodulation, etc., tout à fait quelconques, les 300 B et autres 2A3 en étant l'exemple vivant !

Il convient donc d'exorciser le démon de la mesure en essayant de trouver un montage susceptible de montrer des différences "évidentes" entre amplificateurs.

C'est dans ce but que nous avons réalisé le montage différentiel de la fig. 7.

On injecte sur chacune des voies droite et gauche d'un même amplificateur stéréophonique (supposées identiques par construction !) un signal à 1 kHz (en fait dans la bande 500 Hz-5 kHz). A noter qu'il est parfaitement possible d'injecter à la place du 1 kHz un signal musical issu d'un CD par exemple.

Le signal différence observé en sortie, après ajustement des gains et

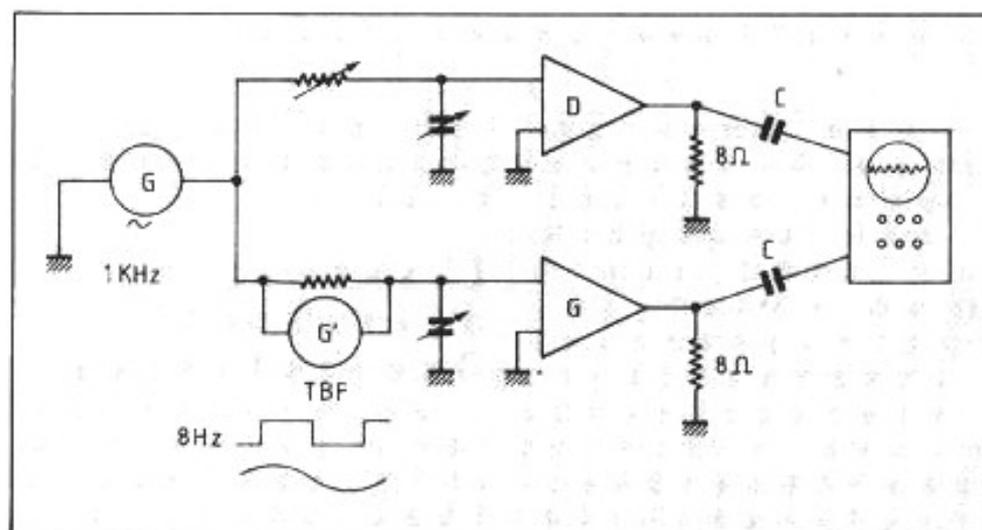


Fig. 7 : Méthode différentielle. On injecte un signal 1 kHz, 0,3 V env. sur chacune des deux voies d'un ampli stéréophonique. On observe la différence des signaux en sortie, normalement nulle après ajustage des éléments variables. On superpose alors sur un des canaux un signal TBF à 8 Hz rectangulaire ou sinusoïdal de 0,2 V. On observe alors la perturbation du signal différentiel. C = capacités passe-haut.

compensation des capacités parasites, est normalement nul ou tout au plus confondu avec le bruit de fond.

On superpose alors sur une des voies un signal à très basse fréquence voisin de 8 Hz, soit sinusoïdal, soit rectangulaire.

Pour que le signal résultant ne dépasse le signal maximal admissible en entrée conduisant à la saturation de l'amplificateur, on réalise la condition :

$$V_{1\text{ kHz}} + V_{8\text{ Hz}} \ll 1\text{ V}$$

Que doit-on observer en sortie ?

A signaler qu'un filtre passe-haut $f_c > 500\text{ Hz}$ est raccordé à l'entrée de l'oscilloscope, pour éliminer en sortie la TBF injectée.

Deux hypothèses peuvent être envisagées quant au résultat escompté (cf. fig. 8) :

a) On observe une variation de phase du signal à 1 kHz due au signal à 8 Hz : il s'agit d'une distorsion linéaire.

Le signal résultant doit être de la forme :

$$Av_o \left[\sin(2\pi ft + \varphi_o (1 + k_1 \sin(2\pi f' t))) - \sin(2\pi ft + \varphi_o) \right]$$

A=gain de l'amplificateur (≈ 20)
 v_o =tension à 1 kHz
 $f=1$ kHz
 $f'=8$ Hz
 k_1 =taux de modulation de phase

b) On observe une variation de l'amplitude du signal à 1 kHz due au signal de 8 Hz qui perturbe le gain : il s'agit d'une distorsion d'intermodulation classique, c'est-à-dire **non linéaire**.

Le signal résultant doit obéir à la relation :

$$Av_o \left[\sin(2\pi ft + \varphi_o) (1 + k_2 \sin(2\pi f' t)) - \sin(2\pi ft + \varphi_o) \right]$$

k_2 =taux de modulation d'amplitude
 Comment distinguer ces deux réponses ?

- Dans le cas a), le signal différentiel observé a une fréquence légèrement différente du 1 kHz initial, par exemple $1000-8 = 992$ Hz.
- Dans le cas b), le signal observé a une fréquence rigoureusement identique au kHz initial.

Résultats

Ils sont très positifs dans le sens où l'on observe bien une réponse très différente en fonction des différents amplis étudiés, qui sont :

- un ampli Denon POA-2800 de 2×240 W (cf. banc d'essai *Nouvelle Revue du Son* n° 438 de septembre 1992) ;
- un amplificateur de 2×50 W classe A Kanéda/PJo avec ou sans capacités dans la contre-réaction (cf. [7]) ;
- l'amplificateur Némésis Compensé de 2×14 W décrit dans ces colonnes [8], avec capacités dans la contre-réaction et transformateurs de sortie.

Les résultats les plus significatifs ont été obtenus avec le 50 W Kanéda classe A où il est possible de court-circuiter la capacité en série avec la contre-réaction. On observe :

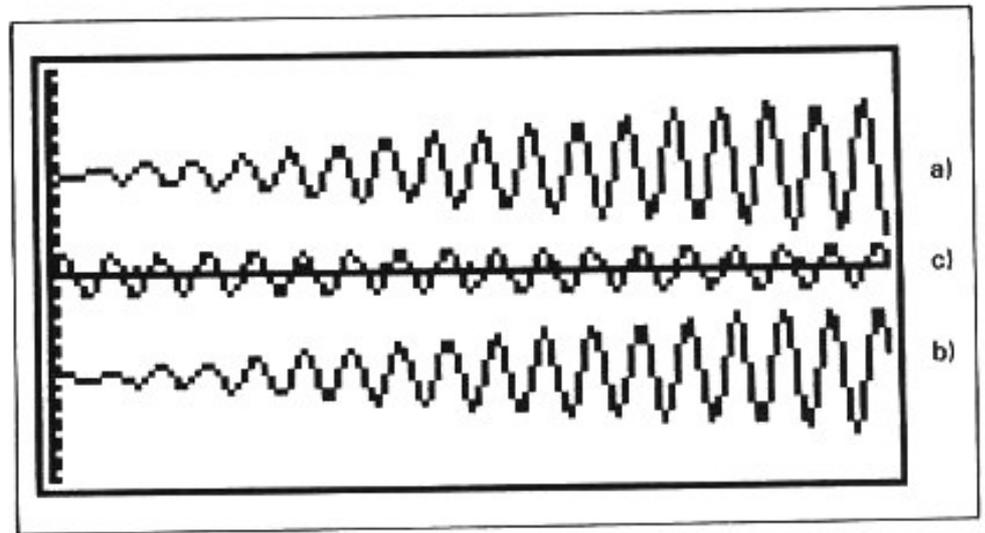


Fig. 8 : c) Signal sinusoïdal (1 kHz) ; a) Signal modulé en phase ; b) Signal modulé en amplitude, synchrone avec c).

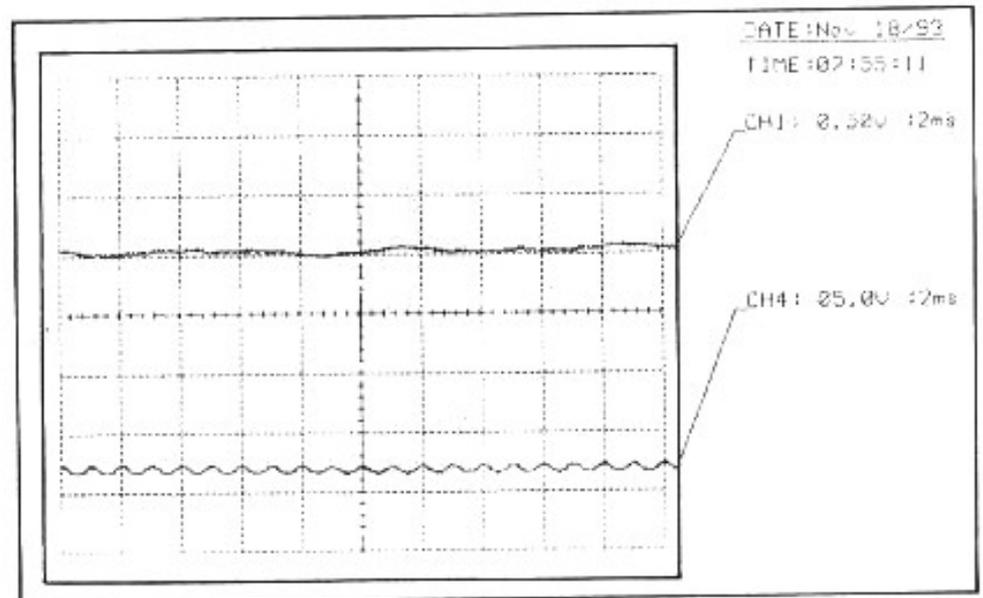


Fig. 9 : 50 W classe A. Signal différentiel en absence de signal perturbateur.

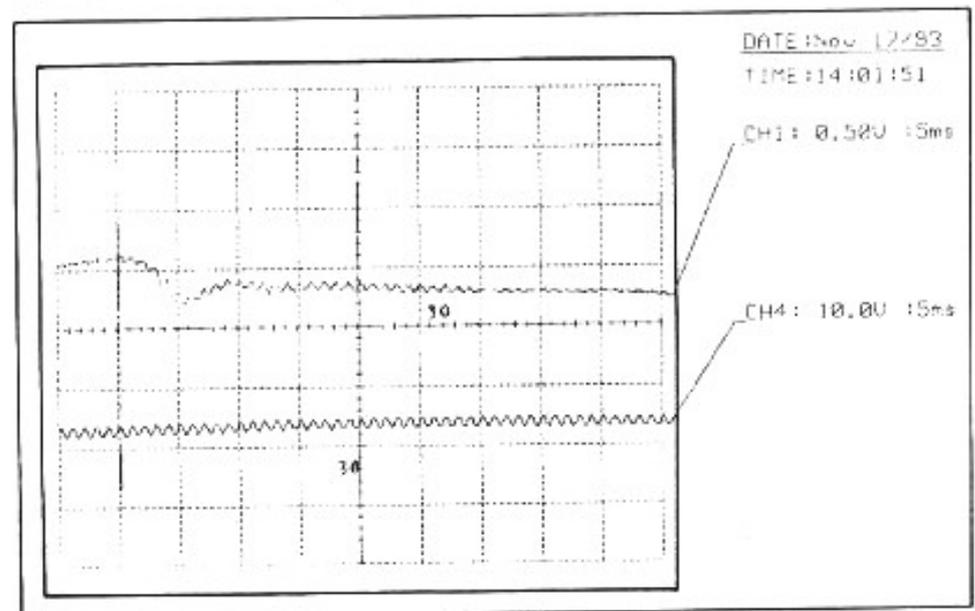


Fig. 10 : 50 W classe A. Signal différentiel avec signal perturbateur rectangulaire à 8 Hz sans capacité série dans la contre-réaction.

Fig. 9 : signal différentiel en absence de signal perturbateur TBF.

Fig. 10 : signal différentiel avec signal perturbateur (8 Hz) sans condensateur dans la contre-réaction (CR directe).

Fig. 11 : signal différentiel avec signal perturbateur et présence de condensateurs en série dans la contre-réaction.

Pour le Némésis Compensé, le signal TBF perturbe fortement le transformateur de sortie ; le signal résultant est donné fig. 12.

Pour le Denon POA-2800, la perturbation est très faible, bien que visible (fig. 13).

Que conclure de ces résultats partiels ?

En mesurant soigneusement la fréquence du signal différentiel, on constate que celle-ci est rigoureusement égale à celle du signal d'entrée : 1 kHz. Nous n'avons pu mettre en évidence **aucun** glissement de phase (ou de fréquence) dû au signal perturbateur, ce qui semble exclure l'hypothèse a).

Peut-on dire pour autant que l'on se trouve en présence d'une classique intermodulation non linéaire ? Nous ne le pensons pas, pour plusieurs raisons :

1°) le signal injecté et le signal perturbateur sont à des niveaux faibles bien à l'intérieur de la zone de linéarité des amplificateurs essayés ;

2°) l'oscilloscope montre immédiatement toute saturation due à un signal d'entrée ou perturbateur excessif ;

3°) les signaux différentiels observés sont très sinusoïdaux.

La peau de l'ours...

A défaut de la peau de l'ours "Distorsion Thermique", on voit surgir un lièvre de belle taille : les signaux observés sont bien visibles et **différent de manière considérable suivant la structure de l'amplificateur essayé**. Peut-on en conclure que l'on a trouvé "la" méthode idéale pour tester un ampli ? Hélas non, ce serait trop

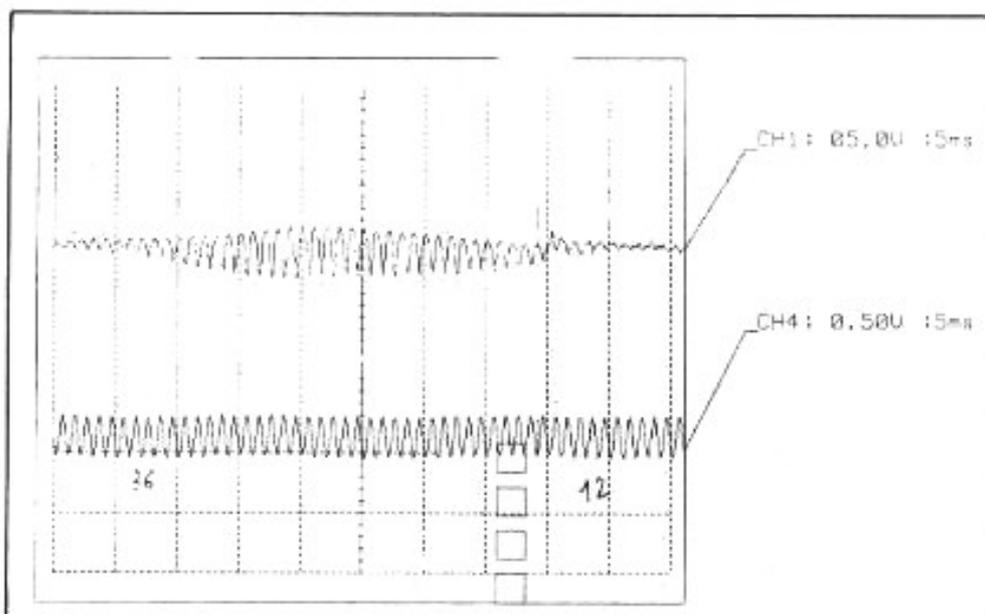
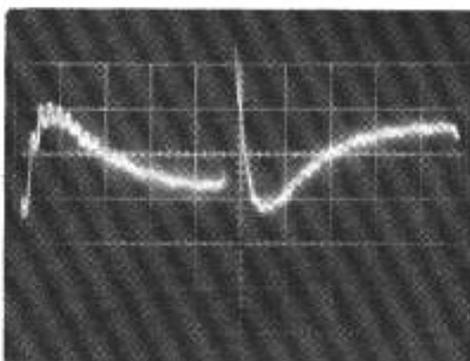
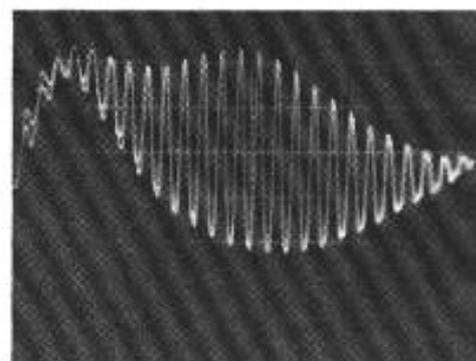


Fig. 11 : 50 W classe A. Signal différentiel avec signal perturbateur 8 Hz avec capacité série dans la contre-réaction.



a)



b)

Fig. 12 : Némésis compensé. a) Sans signal perturbateur ; b) Avec. Le résultat se passe de commentaires...

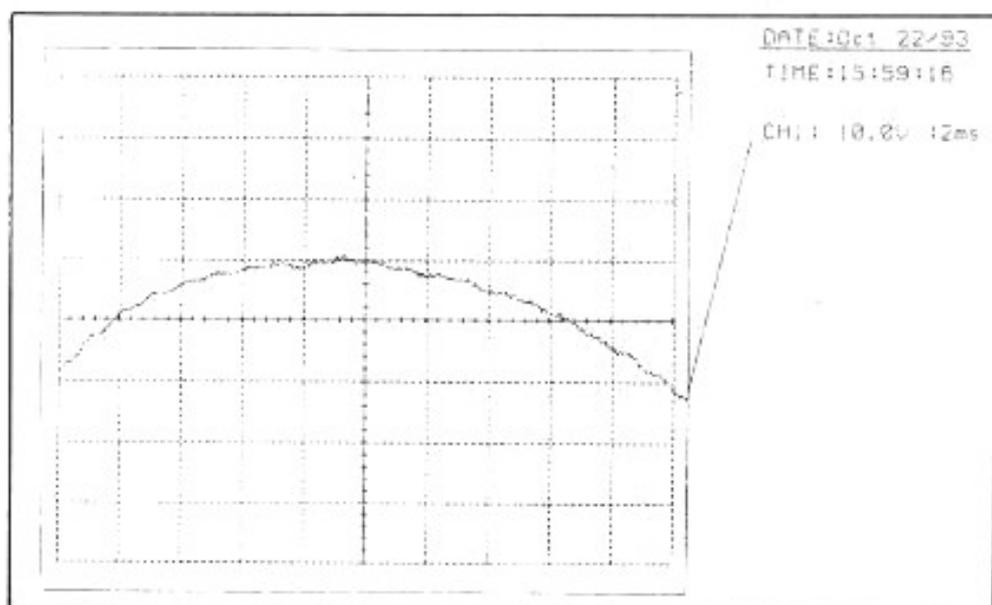


Fig. 13 : Signal différentiel sur Denon POA-2800. Le signal à 1 kHz apparaît très faiblement sur le signal à 8 Hz.

beau et il ne faut pas rêver, même en ces temps de morosité latente. En effet, le signal différentiel obtenu ne semble **aucunement** lié à la musicalité de l'amplificateur utilisé.

Si on prend le Némésis Compensé, considéré par l'équipe de *L'Audiophile* comme un des meilleures électroniques après le 300 B, les résultats sont proprement catastrophiques : le signal différentiel apparaît même pour des signaux perturbateurs faibles et manifeste tout de suite une forte amplitude (cf. fig. 12).

Pour le Denon, le signal est pratiquement inexistant jusqu'à des niveaux élevés ; or cet ampli peut être considéré comme un peu moins bon si l'on se limite à des installations à haut rendement. Pour le 50 W, le signal est faible en l'absence de condensateur en CR, fort avec condensateur. Or, c'est cette configuration qui est considérée comme la plus "musicale" par tous les utilisateurs de cet amplificateur.

Le point fondamental qui semble ressortir de tout ceci est que la musicalité d'un amplificateur ne semble pas liée à sa tenue aux perturbations telles que la Distorsion Thermique pourrait en générer. Il est tout à fait paradoxal de constater qu'un amplificateur comme le 50 W classe A voie sa musicalité nettement améliorée par l'appoint d'un condensateur série dans la contre-réaction alors que ce condensateur dégrade complètement son comportement en présence de perturbations à très basse fréquence (ce qui était bien prévu par les électroniciens et autres automaticiens).

La levée du paradoxe ?

Nous avouons avoir été fortement perturbés par ce résultat dont l'explication n'apparaissait pas comme évidente... Il faut bien reconnaître que le montage à contre-réaction avec capacité série est un montage profondément "hérétique"

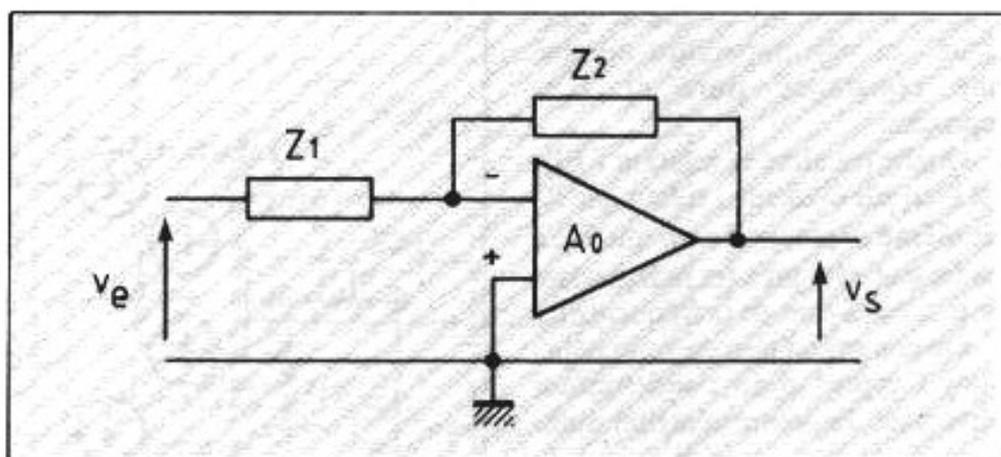


Fig. 14 : Amplificateur à contre-réaction de tension. Z_1 et Z_2 peuvent être des impédances complexes en $f(p)$.

à faire hurler les automaticiens de bonne souche, et que **seul le résultat auditif avait confirmé l'essai**. Si, en plus, une mesure montrait de façon évidente que le résultat **devait** être catastrophique, voilà de quoi rendre perplexe...

En fait, si l'on reprend le schéma classique et ô combien simpliste d'un amplificateur contre-réactionné (fig. 14), le gain du montage, en supposant l'impédance d'entrée de l'amplificateur très grande vis-à-vis de Z_1 et Z_2 , s'écrit :

$$\frac{v_s}{v_e} = \frac{-Z_2/Z_1}{1 - 1/A_0(Z_2/Z_1 + 1)}$$

Si A_0 est suffisamment grand, ce qui est le plus souvent réalisé (et facile à faire...), on a :

$$\frac{v_s}{v_e} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Comme dans tous les schémas, Z_1 et Z_2 apparaissent comme deux sympathiques résistances de bon aloi, on peut se dire que le tour est joué et que **tous** les amplificateurs sont équivalents. Ce résultat est tellement "magique" que beaucoup en sont restés là, alors que tous les Audiophiles persistaient dans l'opinion contraire et ô combien hérétique : "et pourtant, elles existent ! (Sous-entendues : les différences de sonorité entre amplificateurs...).

En fait, à la lumière des épisodes précédents sur les câbles et autres

condensateurs, il ne faut pas voir en Z_1 la belle résistance étalon que l'on pourrait croire, mais une impédance - certes vraisemblablement linéaire - mais d'une complexité probablement redoutable. En fait, Z_1 doit incorporer les capacités de sortie des montages précédents, les impédances et admittances séries et parallèles des câbles de liaison, du circuit imprimé, du câblage, et les capacités d'entrée de l'amplificateur (parallèle et série), ce qui fait que dans le meilleur des cas, Z_1 peut s'exprimer sous la forme $Z_1(p)$ avec $p=j\omega$, et une composante résistive majoritaire dans la bande passante.

Remarque

A ce stade, on peut objecter : "Oui, mais pour le montage non-inverseur, Z_1 est bien une simple résistance". Certes oui, mais d'une part elle se trouve en parallèle avec l'impédance d'entrée de l'amplificateur et, d'autre part, la comparaison signal d'entrée-signal de sortie se fait par l'intermédiaire d'un composant actif plus ou moins bien contrôlé et **non** par l'intermédiaire d'un sommateur à résistance, comme l'a fort bien montré Héphaïstos.

Lorsque l'on voit que le schéma réel d'une simple capacité peut prendre des formes aussi complexes que celle de la fig. 3, on voit que Z_1 peut tout au plus prétendre

“avoir une composante résistive prépondérante sur la bande passante” et non apparaître comme une résistance pure et sans reproche.

Quelle est alors la solution ? Elle est bien sûr évidente : il faut que Z_2 ait même expression en p que Z_1 , à un facteur réel près (et indépendant de p, c'est-à-dire de la fréquence).

On comprend tout de suite pourquoi l'apport d'un condensateur série avec la contre-réaction améliore les choses : on fait tendre Z_2 vers Z_1 à une constante réelle près, c'est-à-dire que le comportement de l'amplificateur tend à devenir enfin réellement indépendant des composants utilisés. Ceci n'exclut pas bien sûr l'effet de suppression de la composante continue...

Voies de recherche

- Une première voie va consister à optimiser Z_2 de manière à rendre le rapport Z_2/Z_1 réel et indépendant de la fréquence. La première approche trouvée un peu empiriquement en incriminant la distorsion thermique avait consisté à mettre un condensateur série dans la contre-réaction. Il est probable que l'on puisse faire beaucoup mieux par une association de condensateurs (et autres composants) judicieusement choisie : le domaine expérimental est vaste et une voie est ouverte aux amateurs...

- Une deuxième conclusion pourrait être formulée de manière plus radicale : le son d'un amplificateur semble majoritairement dépendre des isolants qu'il utilise, depuis les circuits imprimés jusqu'aux capacités et autres diélectriques participant à l'isolation des conducteurs et du câblage, sans oublier les capacités parasites de tout poil... En effet, celles-ci semblent agir sur Z_1 de manière fondamentale, puisqu'il est nécessaire de modifier Z_2 en lui adjoignant (au minimum) une capacité série.

Ceci ne veut pas dire que la musicalité d'un amplificateur ne dé-

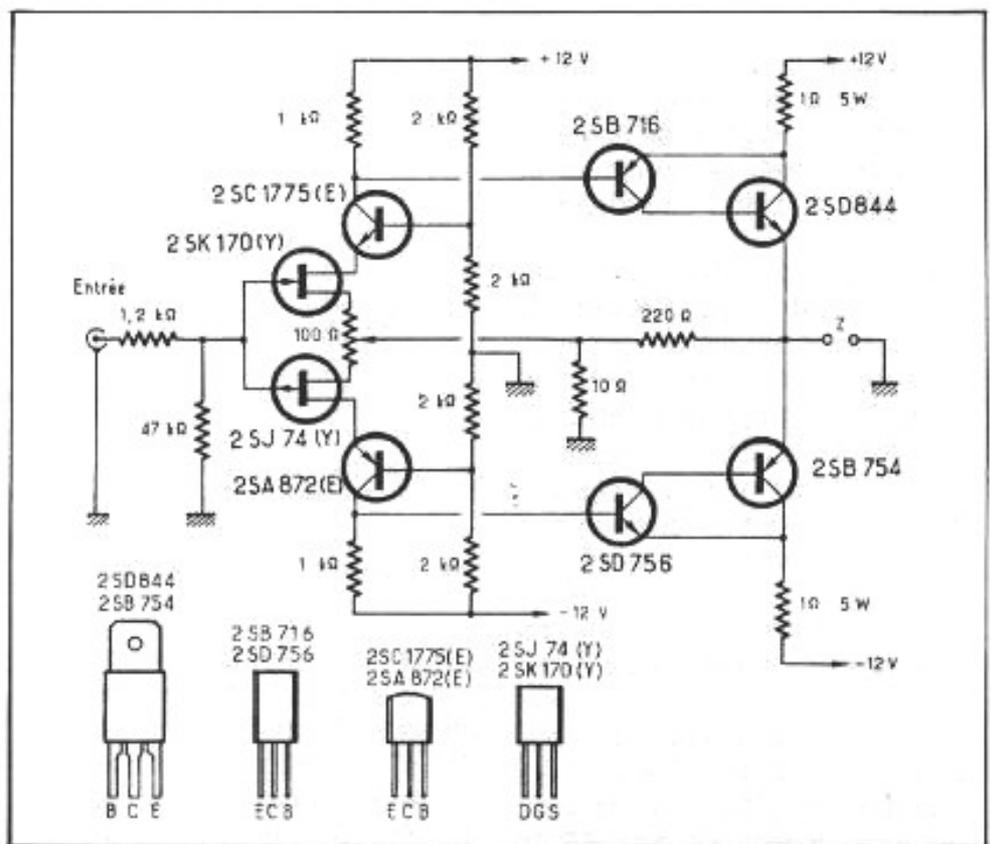


Fig. 15 : Circuit de l'amplificateur classe A 8 watts.

pende que des capacités qu'il utilise, mais que l'on changera de sonorité en changeant ses condensateurs, ce qui confirme une observation bien connue des Audiophiles.

Un amplificateur sans condensateur : le 8 W classe A

A ce stade, l'opération la plus tentante consisterait à réaliser un amplificateur sans condensateurs (y compris pour l'alimentation !), ce qui n'est pas une mince affaire...

Un élément de base pourrait être le Monstre 8 W de Jean Hiraga [9] tel que décrit fig. 15 et qui ne comporte pas de condensateurs.

Comme il peut très bien être alimenté sur batteries 12 V, la solution semble à portée de main. Reste le problème du circuit imprimé...

Le circuit déprimé ?

Jean Hiraga dans ces colonnes et beaucoup d'Audiophiles férus

d'expérimentation ont insisté sur l'influence des circuits imprimés sur la musicalité des amplificateurs. A noter que beaucoup de lecteurs CD utilisent le papier baké au lieu du verre époxy, même dans du haut de gamme : l'économie réalisée ne semble pas la raison majeure mais bien plutôt des capacités parasites réduites.

Une solution radicale est le câblage "en l'air", mais si celui-ci est relativement aisé sur les montages à lampes en utilisant les supports des tubes, il n'en va pas de même pour les montages transistorisés.

La solution que nous avons choisie consiste à coller (2) à l'envers les composants sur une plaque de cuivre de la dimension du circuit imprimé et à relier entre elles les pattes des éléments. On obtient pour le 8 W par exemple une configuration semblable à celle donnée fig. 16. Les éléments de câblage un peu long sont isolés à l'air ou au Téflon.

En un seul point de la plaque de

cuivre sont reliés :

- le 0 V alimentation
- la masse HP
- la masse signal.

L'alimentation du montage se fait par deux batteries de voiture de 12 V, 40 à 50 Ah. (On peut se contenter de 2x35 Ah pour alimenter une seule voie.)

Avec un tel montage, les seules capacités parasites sont les capacités entre pattes dans l'air, ou entre boîtiers et plan de masse : elles sont forcément très faibles.

Nos lecteurs seront tenus au courant des résultats obtenus : un peu de patience avant de se lancer dans l'aventure.

Conclusion

Après les difficultés rencontrées dans la chasse à la distorsion thermique, la méthode différentielle proposée ici semble montrer que l'influence des condensateurs et autres isolants utilisés dans un ampli apparaît comme prépondérante. Ce fait avait déjà été perçu par les Audiophiles depuis bien longtemps : le préamplificateur SRPP utilisait pour chaque capacité un assemblage de plusieurs condensateurs judicieusement choisis. De même, dans les amplis à tube 300 B ou 2A3, le remplacement des électrochimiques par du polypropylène était décisif. Enfin, les résultats "invraisemblables" obtenus sur les câbles en séparant les conducteurs ou en utilisant du Téflon semblaient bien démontrer l'influence considérable des capacités dans la transmission du son, ceci sans oublier l'influence de la polarisation des isolants de câbles par pile 9 V.

Peut-on en conclure que les éléments actifs ont une influence négligeable vis-à-vis des éléments passifs et des condensateurs en particulier ? (Les résistances elles-mêmes ont toujours une capacité parasite.) Ce serait aller un peu vite en besogne. Mais enfin il est certain que dans les montages à tubes les condensateurs sont beaucoup

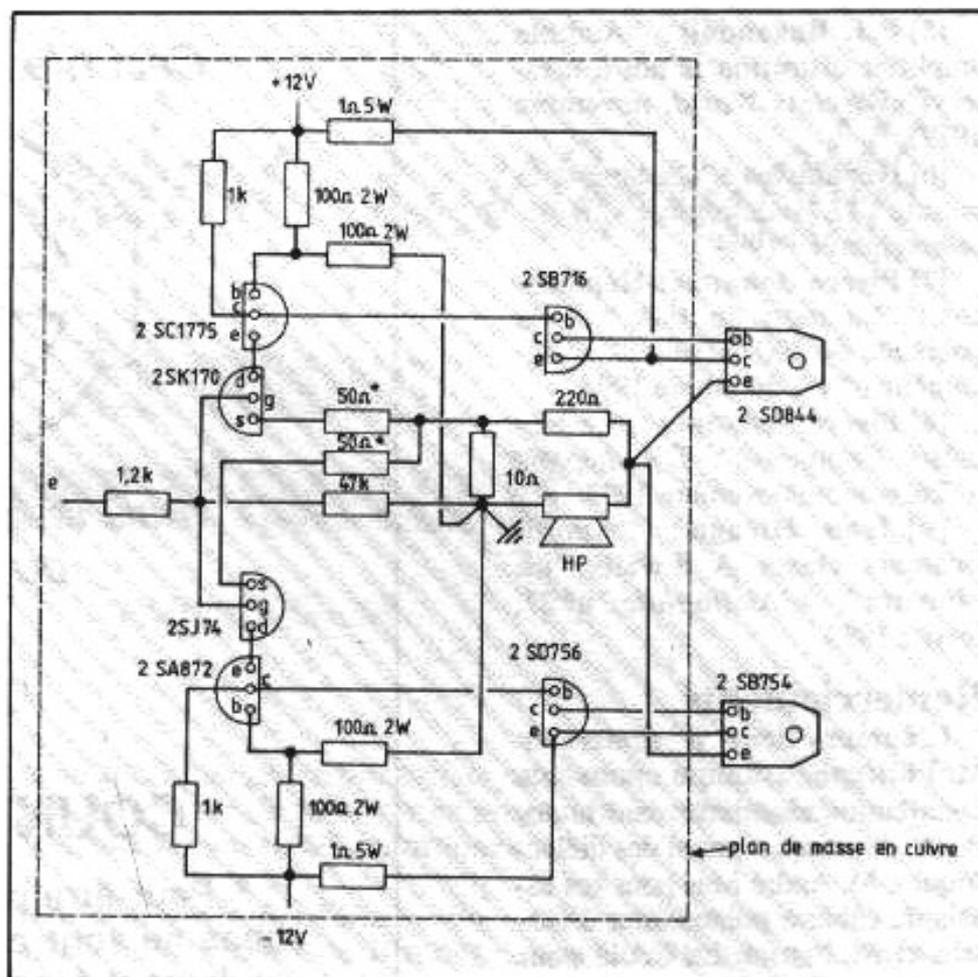


Fig. 16 : Essai de câblage "en l'air" pour le 8 W classe A. Les composants sont collés par la tête sur un plan de masse. Les transistors de puissance sont classiquement fixés sur radiateur. Les résistances de 50 Ω pourront varier pour obtenir 0 V en sortie.

mieux utilisés : ils présentent toujours à leurs bornes des différences de tension continues grandes vis-à-vis de la tension alternative du signal. D'une façon générale, les électroniques à tubes sollicitent d'ailleurs beaucoup moins les effets de mémoire des isolants que les amplis à transistors : tensions élevées vis-à-vis des signaux, ambiance plus chaude qui contribue à éliminer les charges stockées, transformateurs éliminant les charges piégées dans les câbles, etc. On comprend accessoirement pourquoi il est toujours très conseillé de maintenir sous tension les électroniques à transistors...

Cette hypothèse demande bien sûr à être confirmée : la mise au point d'un amplificateur sans condensateur va dans ce sens. Une fois de plus, on vérifie que les vrais

problèmes en matière de Haute-Fidélité ne sont pas là où on les cherchait (les composants actifs) mais dans des éléments considérés comme tout à fait accessoires (condensateurs, isolants et câbles).

Bibliographie

- [1] Pierre Johannet : "Le son des câbles : et si l'explication ne tenait qu'à un fil ?". *L'Audiophile* n° 9, mars 1990.
- [2] Pierre Johannet : "Les câbles : la fin du mystère ?". *L'Audiophile* n° 23, février 1993.
- [3] Pierre Johannet : "Les câbles. Les Condensateurs et la Mémoire des Isolants..." *L'Audiophile* n° 25, juillet/août 1993.
- [4] Pierre Johannet : "Pour en finir avec le câble..." *L'Audiophile* n° 27, décembre/janvier 1994.

[5] **P.J. Baxandall** : "Audible amplifier distortion is not a mystery". *Wireless World*, novembre 1977.

[6] **Héphaïstos** : "Ça dépasse la mesure !" *L'Audiophile* n° 27, décembre/janvier 1994.

[7] **Pierre Johannet-Héphaïstos** : "La mort du tube ? A la poursuite du 300 B (suite)". *L'Audiophile* n° 18, décembre 1991.

[8] **Pierre Johannet** : "Le Né-mésis Compensé". *L'Audiophile* n° 26, octobre/novembre 1993.

[9] **Jean Hiraga** : "Amplificateurs classe A 8 watts "Le Monstre". *L'Audiophile* n° 27, février 1983.

Remerciements

L'auteur tient à remercier M. Philippe Guinic pour sa contribution essentielle dans le domaine du comportement des diélectriques, M. André Mas pour ses essais de câble à polarisation d'isolant et M. Patrick La Scola pour son analyse des phénomènes visco-élastiques.

(1) AES : Audio Engineering Society.

(2) Les colles utilisables sont la Cyanolit et l'Araldite, mais une colle légèrement conductrice serait probablement fort bénéfique.



- Réalisation personnelle -

LE TUNING MODE D'EMPLOI II



Philippe David

Suite au succès du précédent article relatant les modifications d'un lecteur de CD, nous avons eu l'idée de récidiver en proposant aux audiophiles des travaux sur enceintes acoustiques.

Jean Hiraga et votre humble serviteur avons été comblés par l'avalanche de courrier et de coups de téléphone relatifs au premier "Tuning, mode d'emploi" sur la modification, en une douzaine de points, d'un lecteur de CD SONY CDP-X 33ES, paru dans l'Audiophile N°26. Il s'avère donc que ce type de réalisation suscite un intérêt soutenu de la part de nos lecteurs, au point de créer des émules (voir l'article de Monsieur Daigneau dans ce numéro). Forts de cette expérience, nous réitérons aujourd'hui un nouveau chapitre sur cette quête de l'absolu qu'est la recherche du meilleur son possible, en essayant de présenter un exposé aussi clair et concis que possible, sans verser dans le roman-fleuve sur plusieurs numéros, ce qui fait généralement passer les lecteurs à côté de l'essentiel...

Précautions

Insistons tout d'abord sur la rigueur nécessaire à ce genre de travaux, ce qui implique un peu de bases techniques, un certain tour de main, et aussi une bonne oreille permettant de juger de manière la plus impartiale le travail accompli, ce dernier point

étant peut-être le plus difficile... En effet, nous venons de lire des comptes-rendus d'écoute, dans une revue de haute-fidélité qui ont provoqué l'hilarité générale au sein de la rédaction, sur un comparatif de mécaniques CD testées à partir des sorties numériques, où il est fait état de "soleil éclatant" et de "lumière cristalline et fraîche de l'aube", sans parler de "la puissance de l'océan déchaîné qui monte à l'assaut des côtes de Bretagne à la solidité des rochers de granit qui lui résistent depuis des siècles" pour tenter, (et échouer, c'est bien le mot) de caractériser la restitution d'une batterie. Ces termes vibrants de lyrisme trouveraient mieux leur place dans une revue de pêche et chasse... Revenons à des préoccupations plus sérieuses. Les modifications et améliorations d'un élément de chaîne haute-fidélité doivent être effectuées hors de sa période de garantie. Dans le cas contraire, cette dernière peut être invalidée de plein droit, en cas de panne imposant la réparation dans des structures spécialisées, même si les modifications effectuées n'ont aucune influence sur les origines de la panne. Les plus intrépides de nos lec-

teurs pourront cependant "opérer sans filet" à leurs risques et périls, en redoublant de prudence. Il est préférable de réaliser les modifications par étapes, sous peine de perdre tout point de repère auditif, et donc toute précision de jugement. C'est à ce prix qu'une modification devient une amélioration réelle. Encore une fois, ces travaux, pour si passionnants qu'ils soient, n'en demeurent pas moins des interventions délicates permettant de décupler les performances du maillon ainsi amélioré, pour une mise de fonds relativement minime. Comme nous vous l'avions indiqué dans le premier chapitre, le facteur-temps doit être laissé de côté, car rien, dans ce domaine, ne peut être correctement réalisé dans la précipitation. Ceci posé, des solutions originales, auxquelles on ne pense pas forcément, seront évoquées dans ce qui suit.

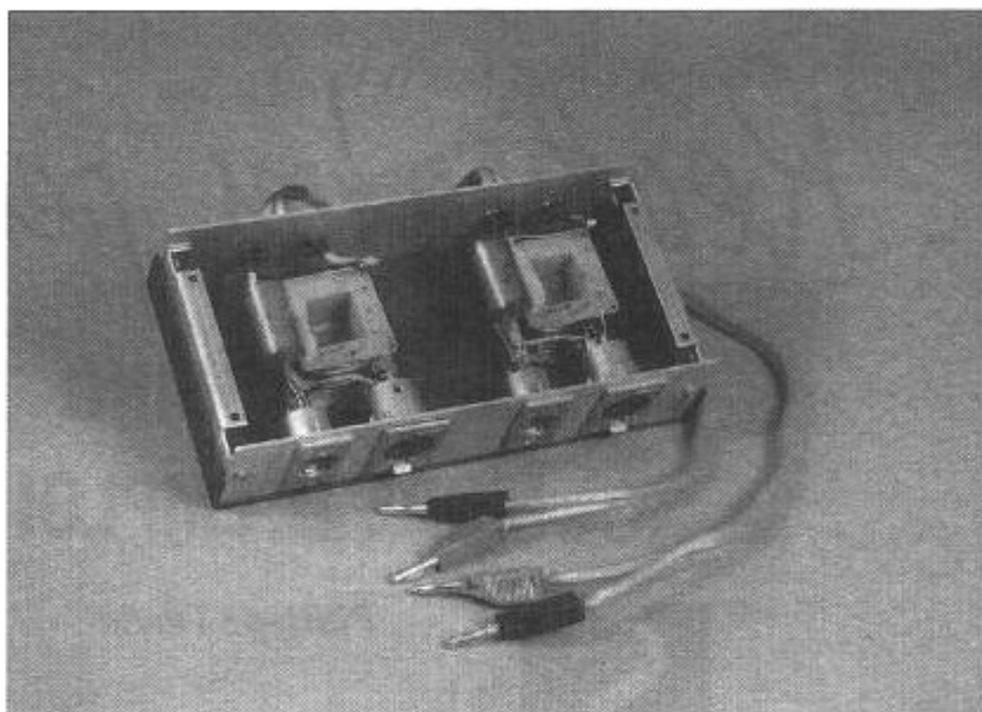
Choix économiques et techniques

En haute-fidélité comme dans d'autres domaines, le mieux est l'ennemi du bien. Certains produits gagnent à être améliorés, d'autres non. L'audiophile qui va investir un

million de Francs dans une paire de Wilson Audio n'aura rien à faire pour tirer le maximum de ses enceintes construites autour de haut-parleurs spécifiques, d'autant qu'elles sont montées et optimisées à domicile par Mr Wilson en personne. De même, toute intervention dans une électronique YBA nous paraît injustifiée, dans la mesure où la démarche technique du concepteur, qui est parmi les plus abouties, se situe à quelques années-lumière de la concurrence : connaissez-vous, par exemple, des gammes d'amplis et de préamplis actuels, à transistors, qui possèdent des modules spéciaux dans lesquels les composants discrets sont câblés en l'air, s'affranchissant ainsi des problèmes insidieux générés par les circuits imprimés ? Par contre, il existe des produits remarquablement pensés qui méritent cependant quelques améliorations. Nous revenons sur un point évoqué lors du précédent chapitre : un choix s'impose, au départ, car il n'est pas rentable, ni au plan financier, ni même sur le plan de l'écoute, de s'attaquer à un élément de bas de gamme, pas plus que sur un appareil de très haut de gamme. En effet, ce serait une perte de temps pour un résultat médiocre. Les produits situés entre le bas et le haut de gamme se prêtent plus facilement à notre entreprise.

Une enceinte hors du commun

La SIA BC 100 est une enceinte très originale, qui se distingue des réalisations des autres constructeurs, car elle rassemble un nombre impressionnant de solutions techniques que l'on ne retrouve qu'isolément sur d'autres marques concurrentes. Le banc d'essai de ce modèle dans la Nouvelle Revue du Son de décembre 1989 était en parfaite adéquation avec ce que l'on retrouve à l'écoute. La SIA BC 100 est transparente, sans caractère marqué autre qu'une légère rondeur autour de 100Hz. La restitution est néanmoins très précise et claire, l'image stéréo est à la fois large et homogène, en raison, notamment, du manque de directivité du



Le filtre d'origine comporte les éléments passifs et la connectique pour la paire d'enceintes. Le câble d'entrée n'est déjà plus celui d'origine, il avait été changé peu de temps après l'achat. Les soudures ont été refaites à l'argent.

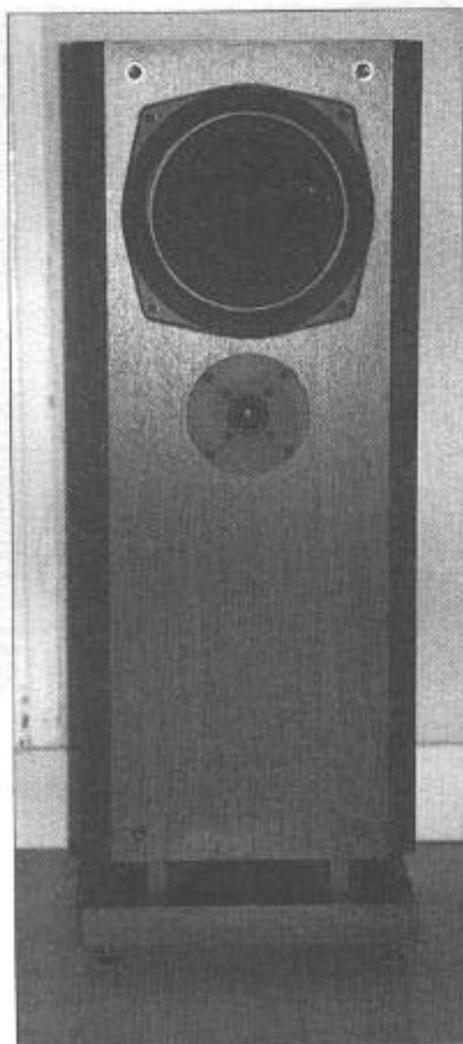
tweeter. Cette colonne, de dimensions fort raisonnables (775x290x240 mm) est équipée d'origine de trois haut-parleurs : un boomer Davis de 21 cm, en carbone, spécialement étudié pour la BC100, fonctionne en volume constant, grâce à un passif de 17 cm de même provenance, monté à l'horizontale dans le tiers inférieur de l'enceinte, lui-même, décompressé par un résonateur de Helmholtz, conformément aux recherches que fit ce physicien entre 1863 et 1877, ce qui, en passant, montre à nouveau que certains principes existent depuis fort longtemps. Enfin le son passe par un évent à décompression laminaire, situé dans le pied de l'enceinte. Le boomer étant fixé dans la partie supérieure de la colonne, le tweeter a tout naturellement, ou presque, trouvé sa place au-dessous. Il s'agit d'un SEAS H392, équipé d'un dôme polyamide d'un pouce et d'une bobine ferrofluidée. La bonne linéarité de ce haut-parleur associé aux deux Davis réalisés sur cahier des charges a permis au concepteur, Louis Martinez-Burnat, d'opter pour un filtre minimaliste, puisqu'il ne comprend qu'une self et un condensateur, la valeur de 6dB par octave ayant été déterminée par des essais succes-

sifs. La linéarité satisfaisante de cette enceinte n'a pas exigé d'éléments de compensation dans le filtre, ce qui est un atout pour garder le maximum d'informations aux bornes des haut-parleurs, avec le minimum de colorations. Les BC100 possèdent deux prises XLR au dos, l'une pour le grave, l'autre pour l'aigu, ce qui explique la présence des deux lettres de la référence rappelant le bi-câblage. En effet, Mr Martinez-Burnat a remarqué que les filtres dont il affinait les valeurs fonctionnaient mieux à l'extérieur de l'enceinte qu'à l'intérieur. Ceci s'explique par le fait que les éléments passifs n'apprécient guère les vibrations provoquées par les haut-parleurs, ce qui provoque un phénomène ressemblant fort à l'effet microphonique des tubes électroniques. Les variations de champ magnétique produites par les moteurs, rarement blindés, influent aussi de façon néfaste sur les filtres. Ce n'est pas tout : Les câbles de liaison, des amplis aux enceintes, peuvent avoir une influence négative sur la restitution des signaux, et créer une forme de distorsion d'intermodulation, surtout dans le haut du spectre et aussi de la distorsion de phase, liée aux vitesses de propaga-

tion des différentes fréquences du spectre audible. Le fait de posséder deux câbles réduit considérablement ce problème. Ceci ne peut être mis en évidence que sur des instruments de mesure très précis. Certains constructeurs ont amélioré leurs liaisons en utilisant du câble multibrins dans des matériaux différents, de manière à optimiser la restitution en augmentant la vitesse de propagation. Pour ce faire, le câble doit être le moins résistif, le moins selfique et le moins capacitif possible. Les BC 100, compte tenu des solutions techniques choisies descendent, malgré leur taille raisonnable à 30Hz pour un rendement légèrement inférieur à 92 dB/W/m.

Progression logique

Il faut vivre avec son installation haute-fidélité, parfois pendant des mois pour déceler, ici et là quelques petits défauts que l'on peut supprimer plus ou moins facilement. C'est pour cette raison qu'il ne faut jamais acquérir un élément qui possède une signature sonore trop marquée : en effet, l'audiophile peut être séduit sur le coup, mais après un certain temps d'écoute, largement postérieur à la date d'acquisition, il n'entendra plus que les défauts caractéristiques de cet élément. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, on ne s'habitue pas forcément à la personnalité débordante d'un maillon de chaîne haute-fidélité, toutes catégories confondues. Un célèbre concepteur français n'a-t-il pas lui-même interrompu quatre mois de recherches sur une mécanique de CD européenne ultra-connue pour finalement se rabattre sur le choix d'une autre base qui donnait de bien meilleurs résultats? Même si certains phénomènes d'acoustique se lisent instantanément sur un banc de mesures, et s'interprètent presque aussi facilement, le pouvoir d'analyse récurrent du cerveau humain peut avoir besoin de temps pour se faire une idée précise de la coloration ou du manque de définition engageant la responsabilité de tel ou tel élément dans la chaîne audio. La limite de cette



La BC 100 d'origine, recâblée en interne et montée sur des pointes découplées par des plaquettes carbone

démarche, à partir du moment où il y a réaction de la part de l'audiophile ayant décidé de remédier à ces défauts de restitution, est, outre l'argent à investir, une sorte de challenge dans lequel l'amélioration d'un élément entraîne la réactualisation d'un autre, et ainsi de suite... Dans le cas du chapitre précédent, l'amélioration du lecteur de CD a entraîné, outre le changement des électroniques allant dans le sens d'une définition accrue (changement des YBA 3 pour des YBA 1, rien n'est trop beau), l'amélioration des BC 100 sur plusieurs points.

La BC 100 réactualisée

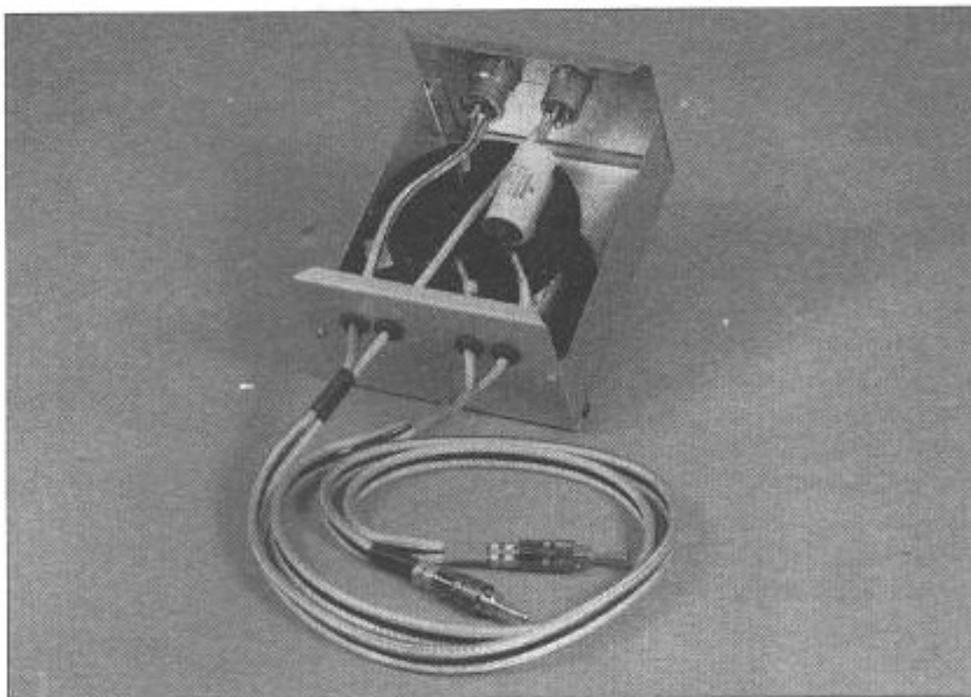
Il est étonnant de constater qu'une amélioration sur un même élément peut en entraîner une autre et ainsi de suite... Tout d'abord, quelques résonances, désagréables tant dans la

pièce d'écoute que chez les voisins du dessous ont nécessité l'achat de pointes vissées aux inserts enfoncés dans les socles. Cette opération a été réalisée à peu de frais, les pointes sont disponibles à des prix très compétitifs dans les officines spécialisées dans la construction d'enceintes. Les petites plaques de carbone qui améliorent le découplage mécano-acoustique et évitent que les enceintes ne s'enfoncent dans le sol, recouvert de dalles plastique, ont été découpées au moyen d'une petite scie circulaire de modélisme, amortie en une seule fois par le fait qu'une réalisation personnelle coûte souvent moins cher qu'un produit fini sur lequel le distributeur prend, en moyenne, 100% de marge... Ensuite, le "dégraissage" du grave et du médium provoqué par les pointes a permis de considérer que le câblage interne d'origine des BC 100 n'était plus d'actualité et qu'il était temps de prévoir son remplacement. Les câbles de 2,5 mm² en cuivre de 192 brins ont fait place, dans un premier temps, à du 4mm² cuivre/argent de chez Monitor PC. Ce câble étant, entre autres, moins résistif, a restitué le niveau de grave antérieur avec une définition accrue. Les pertes sur un câble paraissent faibles, voire négligeables, si on les compare à l'impédance des enceintes, mais deviennent très importantes en regard de l'impédance de sortie de l'ampli (l'YBA 3 a une impédance de sortie de 0,026Ω et l'YBA 1 seulement 0,01Ω). Par conséquent, moins les pertes d'énergie sont grandes, compte-tenu des filtres passifs et transducteurs situés en aval de l'amplification, moins le son en pâtit, puisque l'on se rapproche des valeurs théoriques idéales, dans lesquelles la liaison n'introduit pas d'anomalies... A ce stade de modifications, il convient de réfléchir, car les pertes en ligne peuvent aussi provenir d'ailleurs, et en particulier du filtre deux voies.

Optimisation du filtre

Tout composant passif étant à la fois résistif, capacitif et inductif, il convient de choisir, dans le cas pré-

sent, des éléments LC de bonne précision dans leurs domaines de prédilection respectifs, avec le moins de valeurs parasites possibles : en effet, si l'on exprime la valeur d'une self en Henry, on espère qu'elle aura la plus faible résistance ohmique possible, d'autant que dans le filtre qui nous intéresse ici, le passe-bas est représenté par une self en série sur le haut-parleur de grave. Le modèle d'origine a été bobiné avec du fil de cuivre de 10 dixièmes. Pour une même valeur, une self de 20 dixièmes aura une résistance ohmique parasite de moitié inférieure, ce qui se traduira par une légère élévation du niveau acoustique, sans variation notable de la réponse en fréquence. Même démarche pour le condensateur en série sur le tweeter, formant à lui seul le filtre passe-haut. Divers modèles ont été essayés, ils ont été choisis en fonction de leurs caractéristiques, c'est-à-dire le matériau diélectrique utilisé et les tolérances. Ensuite ces condensateurs ont été testés in situ. Le modèle retenu est un Kimber au polypropylène. Pas de chance, la marque ne possède plus de distributeur en France pour les composants. Nous touchons-là du doigt la faiblesse du marché français qui ne vit que d'auto-satisfaction: Il est impossible de trouver, chez un même revendeur, une gamme complète de produits de qualité. Suivant les valeurs recherchées pour les condensateurs, il faut souvent changer de série, de marque, voire de diélectrique, à partir du moment où l'on désire établir ses choix dans le haut de gamme, sans se rabattre sur des modèles très répandus qui sonnent de manière relativement terne. Là commence le parcours semé d'embûches de l'audiophile. Quelques marques de prestige sont disponibles en France, mais rares sont les séries tenues en stock. Il faudra généralement les commander, avec un délai d'attente parfois déconcertant. Le prix de tels composants est généralement élevé, et il faut souvent en acheter plus que nécessaire, soit parce que le revendeur l'exige, soit pour les mesurer



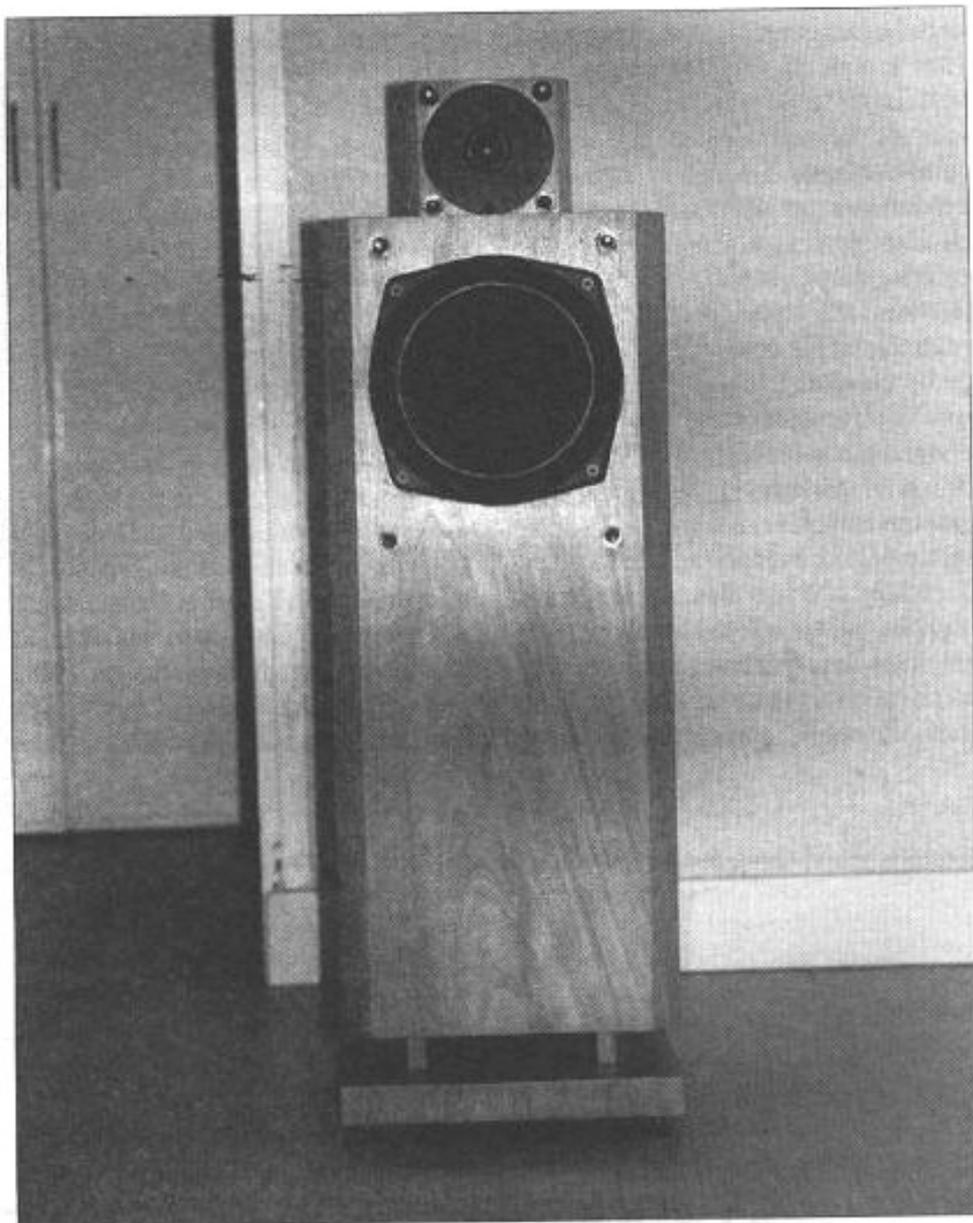
L'un des deux blocs de filtrage en vrai bi-câblage. Le condensateur est collé sur la self. Le revêtement anti-vibration de type plasticine a été retiré pour la photo. Le couvercle, non visible, est garni de mousse absorbante qui presse l'ensemble.

dans le but d'obtenir un appariage gauche/droite satisfaisant. Cette difficulté passée, le montage des selfs et condensateurs dans le boîtier de filtres stéréo est impossible, en raison de leur encombrement. C'est l'occasion rêvée pour réaliser deux filtres possédant chacun un coffret. Le meilleur moyen, à notre humble avis de fixer la self au boîtier par de la colle thermofusible. Aucun boulon ferreux ne devra être utilisé, sous peine de voir la valeur de la self changer et ne plus correspondre au cahier des charges. Aucune difficulté pour l'audiophile ne disposant pas, à ce sujet, de documentation précise concernant les filtres d'origine de ses enceintes : les officines spécialisées comme HP Systèmes à Paris disposent d'instruments de mesure et peuvent même réaliser des valeurs particulières ne figurant pas au catalogue. Le câblage sera effectué en l'air, comme sur la version d'origine SIA. Il faut en profiter pour doubler les câbles d'entrée munis de bananes pour que les avantages du bi-câblage soient plus évidents. L'intérêt principal de ce procédé, outre de diviser par deux la résistance ohmique des câbles, est de limiter l'influence d'une branche de filtre sur

l'autre, lors de la génération de la force contre-électromotrice d'un haut-parleur pouvant ainsi parasiter l'autre, ce qui provoque de la distorsion. De nombreux tests d'écoute rendent cette pratique indispensable. Mais ce n'est pas tout : comme chacun sait, les vibrations des composants passifs induisent des distorsions parfaitement audibles pour une oreille exercée. Les selfs, comme les condensateurs supportent mal les vibrations, il convient donc de les enrober de manière à les réduire considérablement. Divers types de matériaux existent sur le marché, le plus pratique d'emploi est très certainement la plasticine que l'on trouve dans les boutiques d'arts plastiques. Cette pâte se travaille un peu comme du mastic, à la grande différence près qu'elle ne sèche pas, gardant une certaine élasticité après sa mise en place et une densité constante dans le temps, garantie d'une absence de vieillissement. L'audiophile pourra aussi disposer trois cônes sous chaque filtre, réalisant ainsi un découplage par rapport au support. Des petites plaques de carbone identiques à celles des enceintes pourront être disposées sous les cônes.

Retour aux enceintes

La modification du lecteur de CD ayant mis en valeur ses capacités dynamiques, après quelques tests d'écoute méthodiques et fouillés, il a été mis en évidence que le tweeter avait beaucoup de mal à suivre les transitoires. Il a donc été remplacé par un modèle présentant les mêmes caractéristiques électriques, rendement compris, à ceci près que la distorsion est très fortement réduite, apportant ainsi une rare finesse de restitution sur ce genre de haut-parleur à radiation directe. A la différence du SEAS H392, le Dynaudio D260 Esotec possède, derrière le moteur, une cavité enfermant un volume d'air qui sert à charger la membrane par l'arrière. Elle dispose de plus de volume que sur les tweeters à dôme plus classiques, dans lesquels l'amortissement mécanique prend la forme d'une petite feuille de feutre collée sur le noyau à quelques millimètres de la membrane, solution qui ne donne pas les mêmes résultats à l'écoute. Cependant, il faut remarquer qu'un D260 coûte l'équivalent de trois H392... Une petite expérience bien utile ayant été menée par Charles-Henry Delaleu, a permis de mettre en évidence l'influence néfaste du haut-parleur de grave sur un tweeter monté dans la même ébénisterie. Le branchement d'un oscilloscope aux bornes de ce dernier a permis de visualiser l'effet microphonique parasite provoqué par le boomer. La meilleure solution est de sortir le tweeter de l'enceinte pour l'installer dans sa propre boîte, faiblement bafflée afin d'éviter les résonances parasites. Un découplage entre ce petit module et le caisson de grave est nécessaire, nous avons utilisé de l'adhésif en mousse matelassée. Il a donc fallu reboucher le trou laissé sous le boomer, et parfaire la finition en replaquant l'enceinte. A ce stade, les virtuoses du travail du bois comme Thierry Prévost, (présent dans ce numéro et qui est parvenu sans mal à convertir votre humble serviteur aux pavillons acoustiques) n'auront aucune difficulté à mener à bien cette opération. Les autres pour-



La SIA BC 100 revue, corrigée et replaquée, sans les caches. Le tweeter Dynaudio D 260, recalé en phase, surmonte le caisson de grave.

ront faire appel à la maison spécialisée déjà citée, bien aidés par Daniel Salomon, l'ébéniste qui connaît aussi bien les enceintes que la musique, ce qui est un atout incontestable. Les câbles ont été changés, suite à un essai plus que concluant au niveau des transitoires et de la transparence générale avec du Super-Flatline (le double du simple Flatline, soit 16 conducteurs plats en cuivre pur désoxygénés dans une gaine en téflon). Ne voulant pas nous arrêter en si bon chemin, il a fallu déterminer avec précision la fréquence de transition entre le grave et l'aigu. Si le calcul ne donne qu'une approximation, la mesure réelle fait état d'une Ft de 4 370 Hz. La méthode est

très simple, quoique longue : il faut disposer d'un générateur, d'un oscilloscope, d'un fréquence-mètre et d'un micro, et l'on peut louer tout cela... En injectant des fréquences sinus dans la chaîne audio, il faut donc, par mesures successives, déterminer à quelle fréquence les haut-parleurs ont la même amplitude, en les branchant et débranchant successivement. Ensuite, le générateur calé sur cette fréquence enverra le signal à la fois sur l'entrée A de l'oscilloscope, représentant l'origine, c'est-à-dire le boomer, et aussi sur l'amplificateur alimentant le tweeter d'une des enceintes. Il faudra donc faire concorder le signal issu du micro branché sur l'entrée B, avec le direct,

en avançant et reculant le tweeter suivant le cas, en veillant à garder le maximum d'amplitude. Les habitués de Lissajou pourront utiliser cette méthode. Le calcul permet de déterminer un décalage en arrière du moteur d'aigu, mais il faut tenir compte du point d'émission réel du boomer, de celui du tweeter, en retranchant les cotes d'encastrement de ce dernier. L'expérience montre que cette méthode est source d'erreurs, car un bon calage en phase des haut-parleurs se fait, à la fréquence indiquée, au quart de millimètre près. La résonance de la pièce d'écoute n'entre pas en ligne de compte, puisqu'elle est la même pour les deux haut-parleurs face à la fréquence déterminée. Ce type de méthode, si elle apparaît quelque peu

empirique, permet de régler précisément des enceintes modifiées avec un minimum de doigté et de connaissances. Ces opérations ont toutes été confirmées par la suite grâce à notre instrument de mesures acoustiques Clio V3 (voir l'Audiophile N°28). Cette enceinte ne comportant qu'un filtre minimaliste à 6 dB par octave, les haut-parleurs ont été câblés en phase électrique, le déphasage de 90° à la Ft étant compensé par le recul du tweeter. Par contre, un filtre à 12 dB trouvé sur un autre modèle d'enceinte nécessitera l'inversion de polarité du haut-parleur prenant le relai du grave à l'aigu, et l'alignement des points d'émission, puisque le déphasage est, dans le cas de 180°. Pour 18 dB par octave, il faudra à la fois reculer le transducteur d'aigu et

inverser la polarité. Enfin pour 24 dB par octave, les points d'émission devront être alignés.

Conclusion

Cette méthode très simple et relativement peu coûteuse d'optimisation est à la portée du débutant patient et méticuleux. L'apport de la mesure pour affiner les réglages permet de s'affranchir des erreurs engendrées par le calcul, corollaire de la thorie qui peut présenter de nombreuses disparités par rapport aux valeurs réelles. Ces améliorations successives ont permis d'obtenir une restitution sonore plus définie, plus homogène. L'image stéréo s'est élargie considérablement et la focalisation des différents instruments a grandement gagné en précision.

LE MUSEE IMAGINAIRE

HARMAN KARDON PREAMPLIFICATEUR CITATION 11/ AMPLIFICATEUR CITATION 12

Jean Hiraga

E

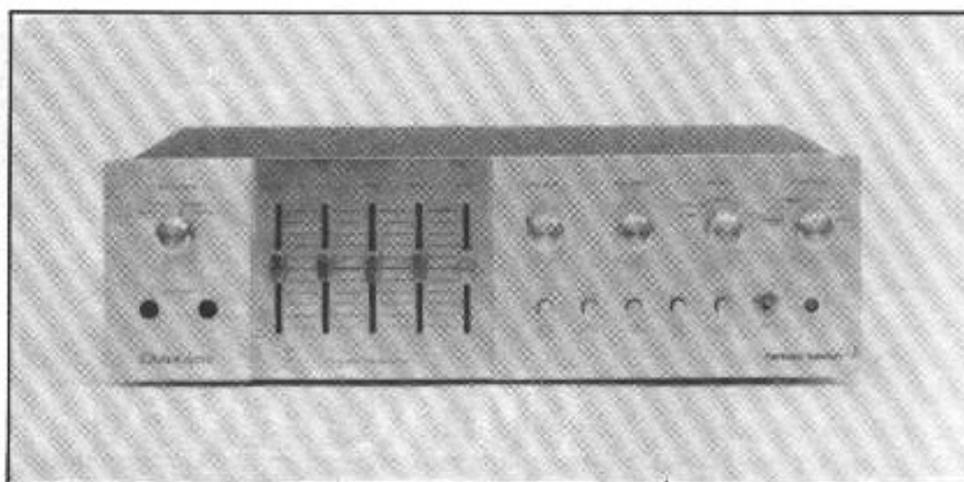
n 1953, Sydney Harman et Bernard Kardon fondèrent aux U.S.A. une firme qui allait connaître un brillant avenir en s'orientant dans une nouvelle branche de l'électroacoustique, l'industrie de la haute fidélité. Bernard Kardon était un ancien ingénieur de la société Bogen passionné des techniques de l'audio et en particulier des sujets touchant à la sonorisation de qualité à forte puissance, tandis que Sydney Harman était plutôt un gestionnaire plein de talent. Cette association fut fructueuse et donna notamment naissance à la gamme légendaire d'amplificateurs et de préamplificateurs "Citation".

La place nous manque malheureusement ici pour suivre pas à pas les différentes initiatives prises par la firme Harman Kardon qui, dès sa fondation comprit qu'un formidable potentiel de marché existait dans le créneau des appareils intégrés tels que les préampli-amplis, les pré-ampli-amplis avec tuner intégré. Elle ne fut pas la seule, car des concurrents américains comme Sherwood, Fisher, Scott, Paco, prirent la même voie. En lançant dès 1959 sa gamme légendaire "Cita-

tion", Harman Kardon voulait toutefois se démarquer des autres et offrir des appareils dotés de performances exceptionnelles sur les critères de distorsion et de bande passante. En quelques années, Harman Kardon devint ainsi le concurrent redoutable de firmes qui s'étaient spécialisées dans ce que l'on pourrait appeler le "haut de gamme" de l'époque, c'est-à-dire Mac Intosh et Marantz. C'est également pour concurrencer des firmes spécialisées dans les élec-

troniques audio en kit (Dynaco en particulier) que furent lancés des amplificateurs en kit Harman Kardon. Le kit "Citation II" par exemple offrait une puissance de 2 x 60 watts, des performances de bande passante, de distorsion tout à fait inhabituelles obtenues non pas à partir de montages révolutionnaires comme Mac Intosh, mais à partir de circuits beaucoup plus classiques. Il fut très vite précédé d'un préamplificateur, le Citation I. D'autres créations à tubes, comme

le fameux "Award A 300" obtinrent un énorme succès grâce à une savante union d'esthétique moderne, de simplicité de circuit et de prix très attractif. Ces différentes formules adoptées par ce constructeur dès sa création ont participé à la prospérité d'une firme qui est devenue aujourd'hui le grand groupe international Harman. Il intègre de nombreuses autres firmes comme JBL, Pyle, Infinity, Harman Video, Lexicon, Fosgate Audionics, AudioAccess, Audax etc.



Préamplificateur Citation 11.

Citation 11 et 12

Créés en 1971, le préamplificateur Citation 11 (Eleven) et l'amplificateur de puissance Citation 12 (Twelve) sont d'une esthétique résolument moderne, que l'on pourrait pu rencontrer en 1980 ou même en 1990.

L'amplificateur Citation 12 comme le préamplificateur Citation 11 qui le précède font tous deux partie des premières générations d'électroniques transistorisées de haute qualité. Contrairement à d'autres marques concurrentes qui ne croyaient guère à l'application des transistors que pour des applications autres que celles de l'audio de qualité, Harman Kardon abandonna très vite la technologie à tubes pour se consacrer à celle du transistor. Grâce à des firmes comme Harman Kardon, on oublia très vite les performances plutôt médiocres des premiers amplificateurs transistorisés du marché. Les développements très rapides du domaine de l'informatique, des électroniques utilisées dans l'aviation ou bien encore dans les applications militaires incitèrent Harman Kardon à adopter sur le préamplificateur Citation 11 et sur l'amplificateur Citation 12 le principe des cartes enfichables, des connecteurs avec repérage sérigraphié de chaque connexion ainsi que celui du câblage "pro" avec "peignes" et "torons".



Amplificateur Citation 12.

Le préamplificateur Citation 11

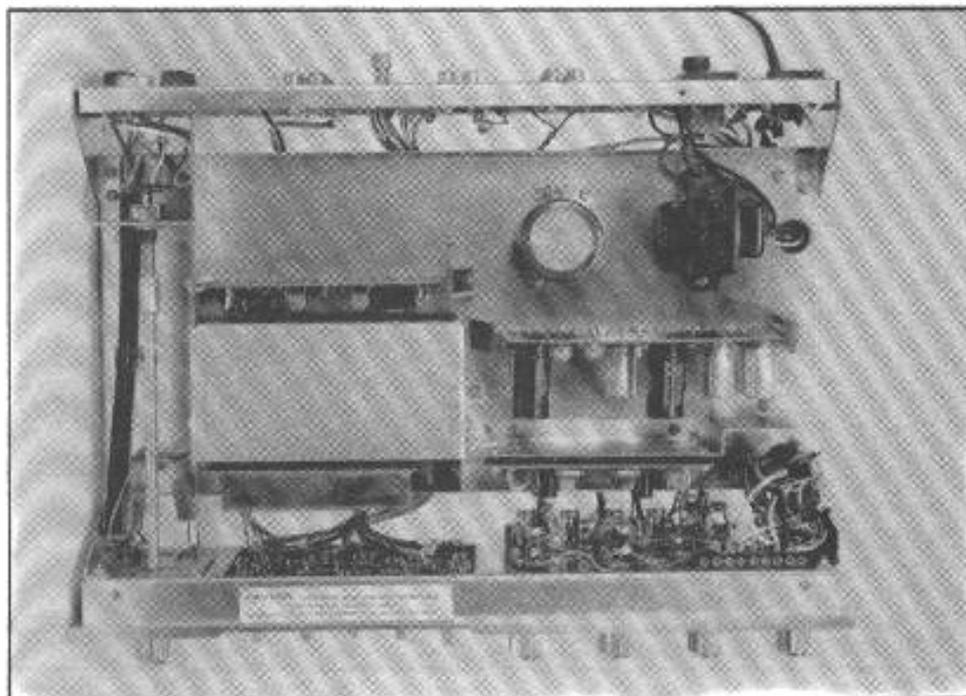
Le préamplificateur Citation 11 intègre différentes possibilités que l'on retrouvera plus tard sur les générations futures de préamplificateurs et amplis intégrés de toutes origines :

- 6 entrées dont deux phono ;
- sélecteur de mode (stéréo, stéréo inversée, mono G, D ou G + D) ;
- égaliseur à 5 points d'inflexion (60 Hz, 320 Hz, 1 kHz, 5 kHz et 12 kHz) avec possibilité de mise hors-circuit de celui-ci ;
- double sortie casque stéréo ;
- filtres passe-haut et passe-bas ;
- monitoring pour magnétophone ;

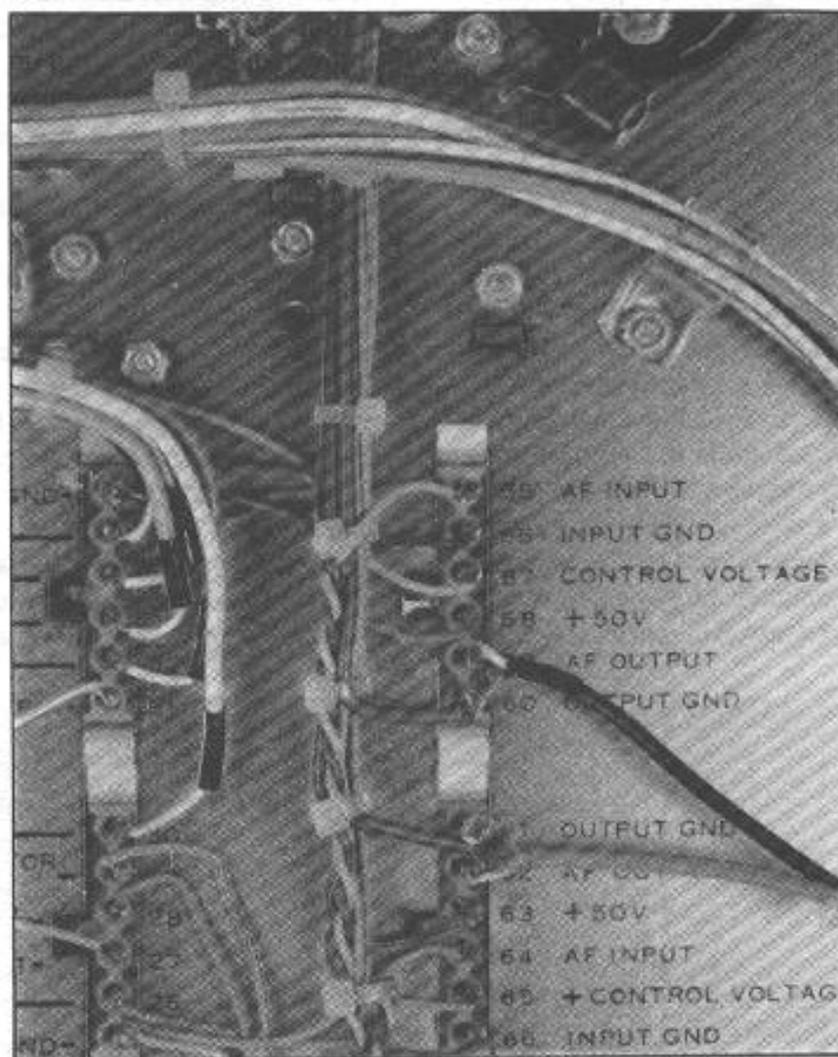
- commandes de volume et de balance ;
- sélecteur enceintes/casques.

Ce dernier "gadget", très pratique, car assurant la gestion de tout l'ensemble de la chaîne à partir du préamplificateur nécessite un retour des connexions de sortie de l'amplificateur vers le préamplificateur. De ce dernier partent ainsi les cables de liaison vers les systèmes de haut-parleurs avec au choix H.P. 1, H.P. 2, H.P. 1+2, la dernière possibilité étant la sortie sur casque seulement.

L'ensemble de ces fonctions est disposé de façon rationnelle sur la face avant. Les commandes de l'égaliseur s'inspirent de celles du préamplificateur JBL SG 520 qui fut à l'origine de cette mode qui



Préamplificateur Citation 11, vu de dessus. Les circuits imprimés, au nombre de 5, sont montés sur cartes enfichables. Trois d'entre eux sont placés sous un blindage.



Préamplificateur Citation 11, vu de dessous. Les liaisons au niveau des connecteurs sont toutes repérées, ce qui facilite le contrôle lors d'une réparation éventuelle.

persiste encore aujourd'hui. Quant à l'esthétique, avec la face avant en métal brossé, les boutons métalliques parfaitement usinés, elle n'est pas sans rappeler celle du JBL SA 600.

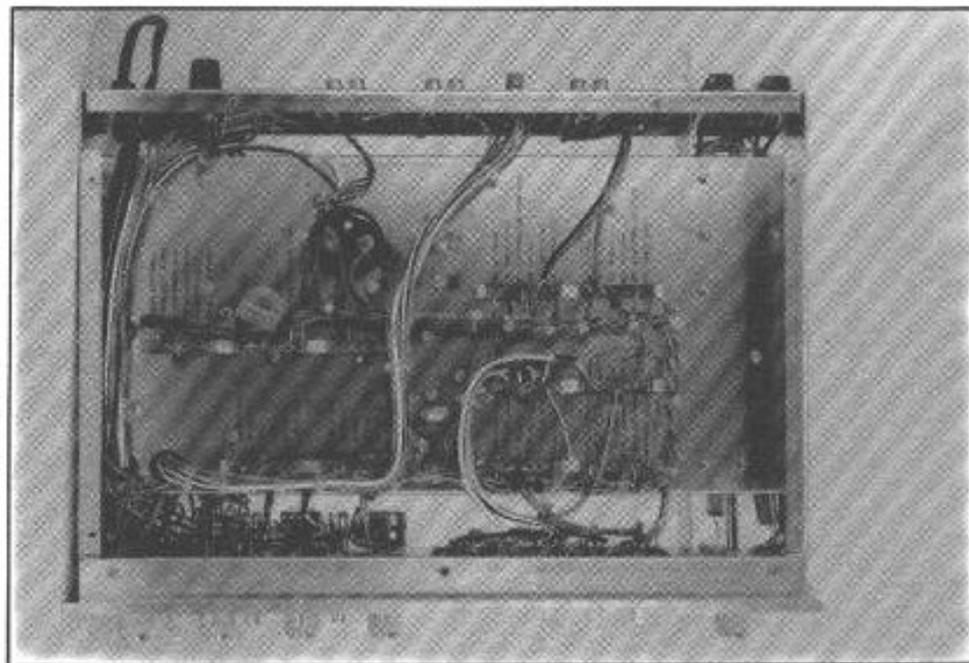
Le circuit est simple et ingénieux à la fois. Les transistors sont tantôt des modèles courants, BC 239C ou 2N3417 par exemple, tantôt des modèles spéciaux fabriqués ou triés spécialement pour les besoins de la firme: 43025972, 43022956, 43027872. Ils participaient d'une part à assurer une bonne tenue des spécifications annoncées, tels qu'un recul de bruit supérieur à 100 dB et d'autre part à ne pas trop faciliter la tâche d'éventuels "copieurs". La section phono est constituée de deux étages couplés directement, avec en entrée le BC 239C suivi du 2N3417. L'égalisation RIAA est assurée par une boucle de contre-réaction sélective disposée entre le collecteur du second étage et l'émetteur du premier. Il est difficile de trouver plus "génial", en termes de simplicité que le circuit égaliseur à 5 points d'inflexion. Il n'utilise en effet qu'un seul transistor par canal et fait usage pour chaque point d'inflexion d'un réseau en "T" placé entre le collecteur et l'émetteur d'un transistor 2N 3417. Chaque commande à glissière, assurant une amplitude de réglage négative ou positive de 12 dB est constituée d'un potentiomètre spécial, avec prise médiane centrale reliée à la masse (mise hors circuit de l'égalisation), extrémités reliées respectivement au collecteur et à l'émetteur et curseur relié à un réseau LRC série retombant lui-même à la masse. Le seul inconvénient du principe était de faire appel à des selfs, de valeur comprise entre 1 et 10 mH, (que l'on remplace désormais par des circuits intégrés qui simulent le même effet). L'étage ligne est constitué de deux transistors montés en liaison directe, avec petite contre-réaction

locale. Il est précédé d'un circuit de muting évitant les bruits parasites au moment de la coupure ou de la mise en marche de l'appareil (deux transistors à effet de champ, effet de blocage de la base du premier transistor. Sur l'alimentation, l'enroulement secondaire unique à point milieu est par contre suivi de six circuits de filtrage individuels 50 volts.

Comme indiqué plus haut, le montage sur cartes enfichages des sections préamplificatrices simplifie le câblage et facilite un dépannage éventuel. La partie dorsale de la face avant est par contre câblée de façon traditionnelle, sans circuit imprimé. Un capot de blindage la recouvre. Ajoutons pour terminer que le taux de distorsion du Citation 11 (Eleven) était de l'ordre de 0,05 % seulement et que le niveau de sortie maximum avoisinait les 13 V.

L'amplificateur Citation 12 (Twelve)

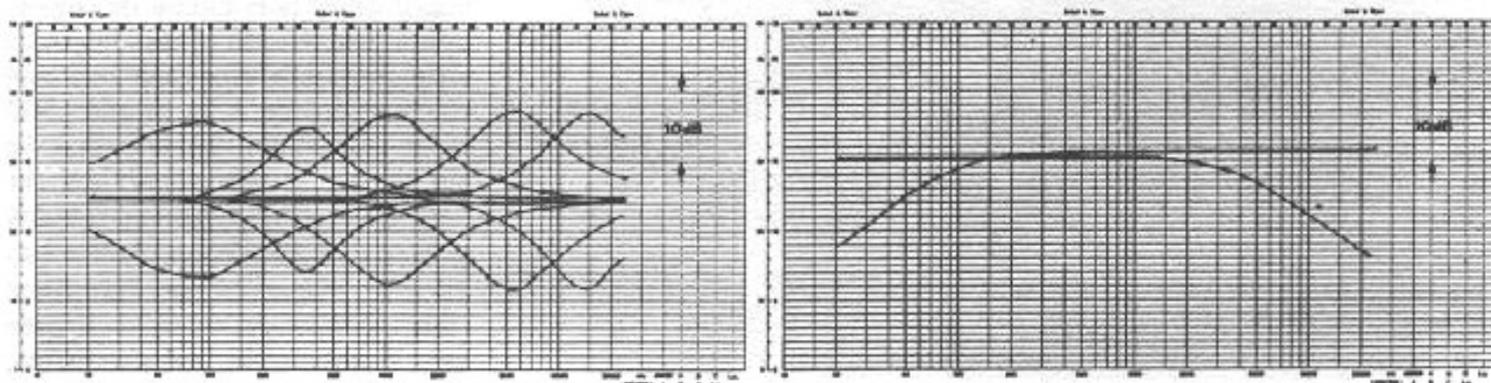
Le Citation 12 est lui aussi d'une simplicité exemplaire. Le circuit est symétrique, alimenté sous + et - 41,5 V. Il est constitué de 4 étages avec, entrée, un transistor différentiel en boîtier unique (référence Harman Kardon sans équivalent commercial). Viennent ensuite, en couplage direct, l'étage prédriver, l'étage driver et enfin l'étage de sortie avec transistors de puissance bipolaires NPN genre RCA 40636, soit un total de 7 transistors (dont



Préamplificateur Citation 11, vu de dessous. Seuls apparaissent les torons de câble reliés aux connecteurs des cartes enfichables.

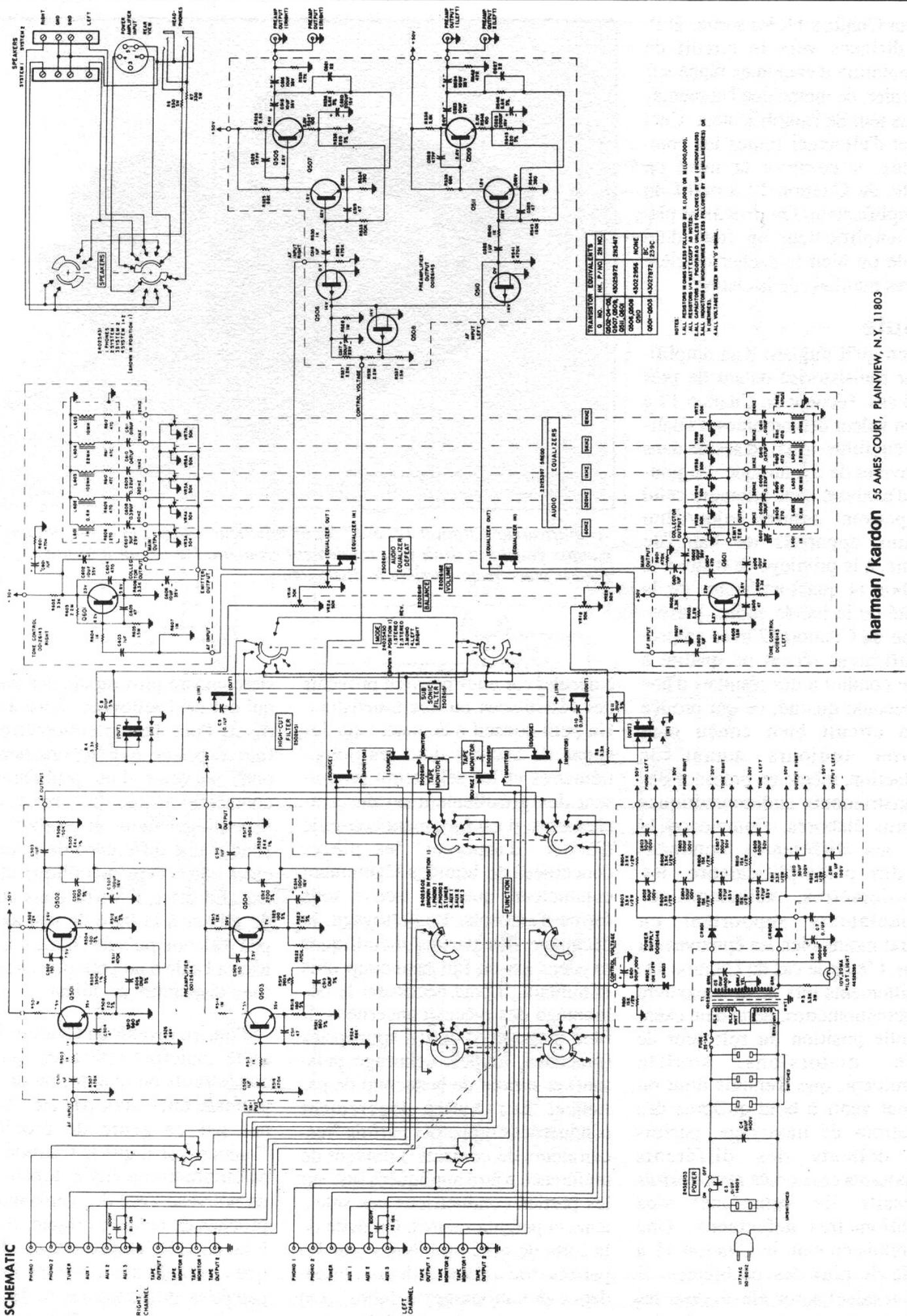
un double) seulement par canal. On obtient sur chaque canal une puissance de 60 watts, sur charge 8 Ω , avec les deux canaux en service. Le taux de distorsion se situe entre 0,02% (1 kHz) et 0,05% (40 Hz ou 20 kHz), ceci à pleine puissance. Le montage symétrique avec liaisons directes participe à l'obtention d'une réponse amplitude/fréquence très étendue (plus de 200 kHz). La réponse aux signaux carrés est impeccable. Elle ne fait apparaître aucun dépassement ni inclinaison des paliers, même à 20 Hz. On remarquera sur le circuit, la présence dans l'étage de puissance d'un filtre self/résistance en parallèle et aussi d'un réseau RC série en sortie

(0,1 $\mu\text{F}/27 \Omega$), tous deux destinés à améliorer encore la stabilité de fonctionnement sur charge complexe ou à tendance capacitive. Chaque canal possède son propre transformateur d'alimentation, avec enroulement secondaire symétrique et condensateurs de filtrage pour les alimentations $\pm 41,5 \text{ V}$. Le montage est très rationnel, avec placement en face avant du radiateur de puissance sous lequel prennent place les borniers des haut-parleurs. Le circuit amplificateur est logé sur une grande carte enfichable placée verticalement, juste derrière le dissipateur. Rappelons que dans le cas de l'association de cet amplificateur avec le préampli-



Préamplificateur Citation 11. Actions de l'égaliseur à cinq points d'inflexion (1) et des filtres passe-haut et passe-bas (2).

SCHEMATIC



TRANSISTOR EQUIVALENTS

| Q NO. | INT. P./NO. OR NO. | REPLACEMENT |
|-----------|--------------------|-------------|
| Q201-Q204 | 4002972 | 2N347 |
| Q205-Q208 | 4002972 | 2N347 |
| Q209-Q212 | 4002972 | 2N347 |
| Q213-Q216 | 4002972 | 2N347 |
| Q217-Q220 | 4002972 | 2N347 |

NOTES
 1. ALL RESISTORS IN OHMS UNLESS FOLLOWED BY K (1,000) OR M (1,000,000).
 2. ALL CAPACITORS IN MICROFARADS UNLESS FOLLOWED BY P (PICOFARADS).
 3. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETERS UNLESS FOLLOWED BY IN (INCHES) OR
 4. ALL VOLTAGES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.

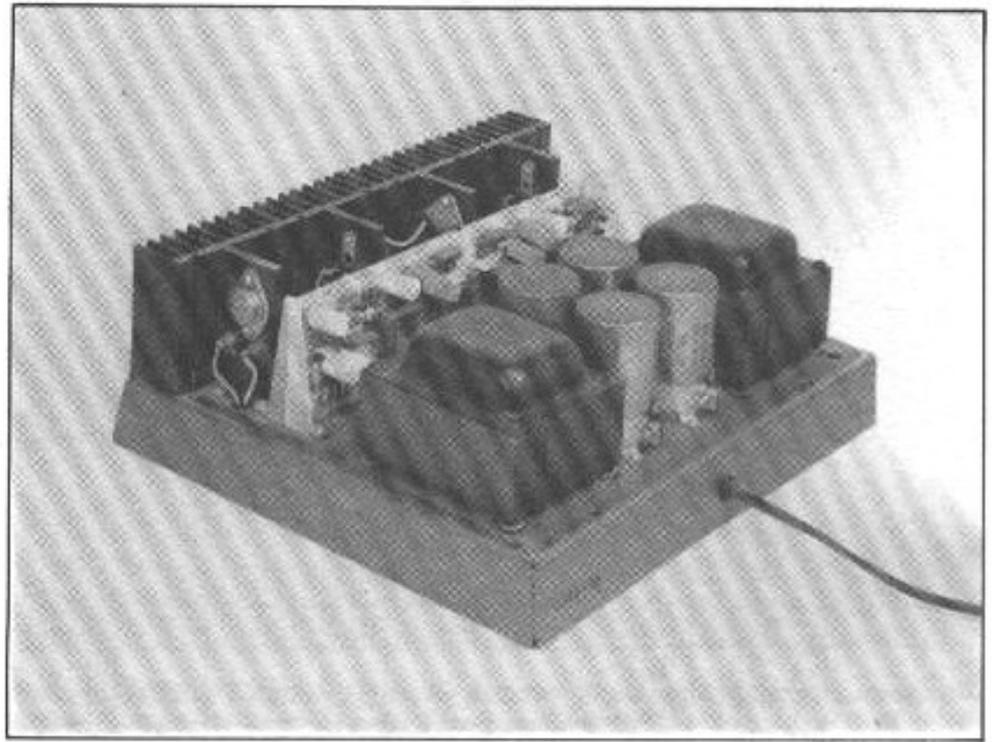
harman/kardon 55 AMES COURT, PLAINVIEW, N.Y. 11803

Préamplificateur Harman Kardon Citation 11. Schéma de principe.

ificateur Citation 11, les sorties H.P. sont dirigées vers le circuit de commutation d'enceintes placé sur ce dernier, de même que l'alimentation secteur de l'amplificateur. Ceci permet d'effectuer toutes les commandes, y compris la mise en marche du Citation 12 à partir du préamplificateur. On peut ainsi placer l'amplificateur au fond d'un meuble ou bien le cacher derrière d'autres maillons de la chaîne.

Ecoute

Bien qu'il s'agisse d'un amplificateur transistorisé datant de près de 25 ans, l'écoute du Citation 12 a mis en valeur de nombreuses qualités d'équilibre tonal, d'assise dans le grave et de dynamique. Le pouvoir d'analyse, sans atteindre celui que peuvent assurer aujourd'hui certains appareils de haut de gamme, a le privilège de rester à la fois bon et quasi-uniforme sur la totalité de la bande audio. L'association du Citation 12 avec un préamplificateur récent de qualité a même conduit à des résultats d'une surprenante qualité, ce qui prouve qu'un circuit bien conçu peut apporter toujours autant de satisfaction, même en présence des enregistrements audionumériques les plus élaborés. Comme on le sait, les différentes commandes des préamplificateurs, les potentiomètres, sélecteurs et commutateurs supportent en général moins bien les épreuves du temps. C'était le cas du Citation 11. Grésillements lors de la manœuvre des potentiomètres, perte d'un canal sut telle position du sélecteur de mode, distorsions, souffle intermittent, que d'ennuis dont on ne peut venir à bout qu'après des opérations de nettoyage, parfois très délicats des différents composants concernés avec parfois nécessité de remplacer des potentiomètres défectueux. Une fois remis en état, le Citation 11 a révélé de plus des problèmes de bruit résiduel assez élevé, dont les origines ne sont pas toujours faciles

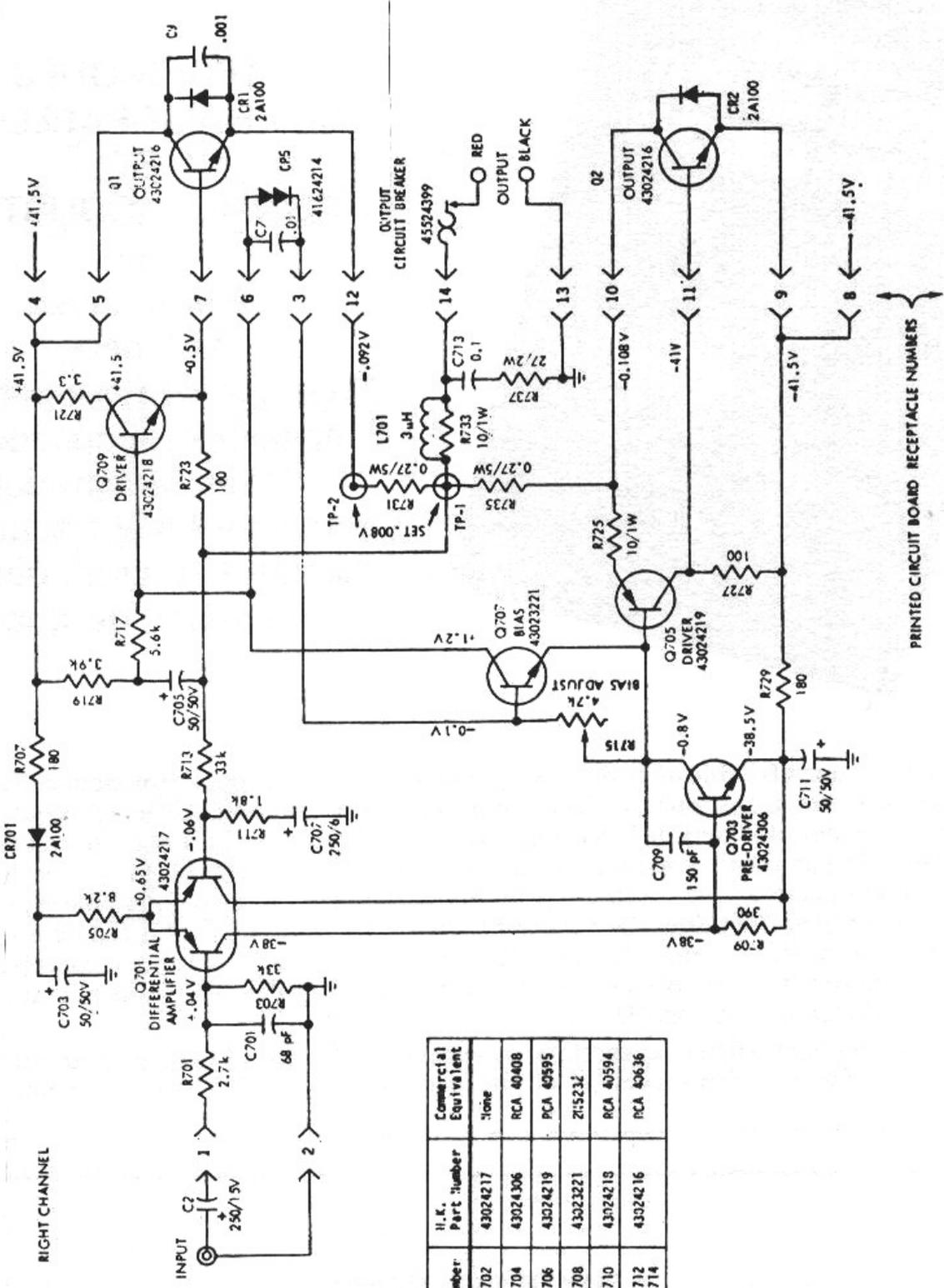


Amplificateur Citation 12, avec capot supérieur retiré. Les alimentations des canaux gauche et droit sont totalement séparées. Un circuit imprimé enfichable est placé juste derrière le dissipateur.

à déceler car elles peuvent provenir des résistances ou des transistors. Un petit conseil à ce sujet : sur les appareils anciens dont les potentiomètres et les sélecteurs produisent des grésillement ou des crachements, il est fortement conseillé d'éviter "d'asperger" les pièces concernées de liquides légèrement conducteurs que l'on trouve sous forme d'aérosols. Le nettoyage, le décapage des parties métalliques oxydées est en fait beaucoup plus minutieux. Il peut nécessiter le démontage des pièces concernées. Il faut disposer d'outils appropriés (pincettes, loupes, éclairage puissant) et surtout de beaucoup de patience. Les huiles légèrement conductrices (appelées parfois "restaurateurs de contacts") doivent de préférence n'être appliquées que sur les parties conductrices des sélecteurs et potentiomètres. On évite de la sorte de gros problèmes (sur les parties travaillant à haute impédance des montages à tubes). On évite surtout une prise à la pous-

sière encore plus rapide des parties qui ont été "nettoyées" ainsi à l'aérosol. Pour les potentiomètres, il faut préciser que le crachement peut provenir d'un problème de contact au niveau du curseur, mais il peut également se produire à la suite d'une différence de potentiel entre son corps métallique et son axe. En effet, il suffit dans ce cas de glisser à la base de son axe un peu d'alcool, puis de l'huile conductrice à l'aide d'un petit pinceau pour faire disparaître ce défaut.

Pour en revenir au Citation 11, il a été toutefois remarqué que les composants de qualité, ou de type professionnel n'ont pas été concernés par ce genre de problème. Toujours est-il que le Citation 11 a pu être remis en état et fonctionner de nouveau avec des performances proches de celles d'origine. Il reste à savoir si les amplis intégrés fabriqués actuellement seront encore capables de fonctionner dans 25 ans. Rendez-vous en 2020.

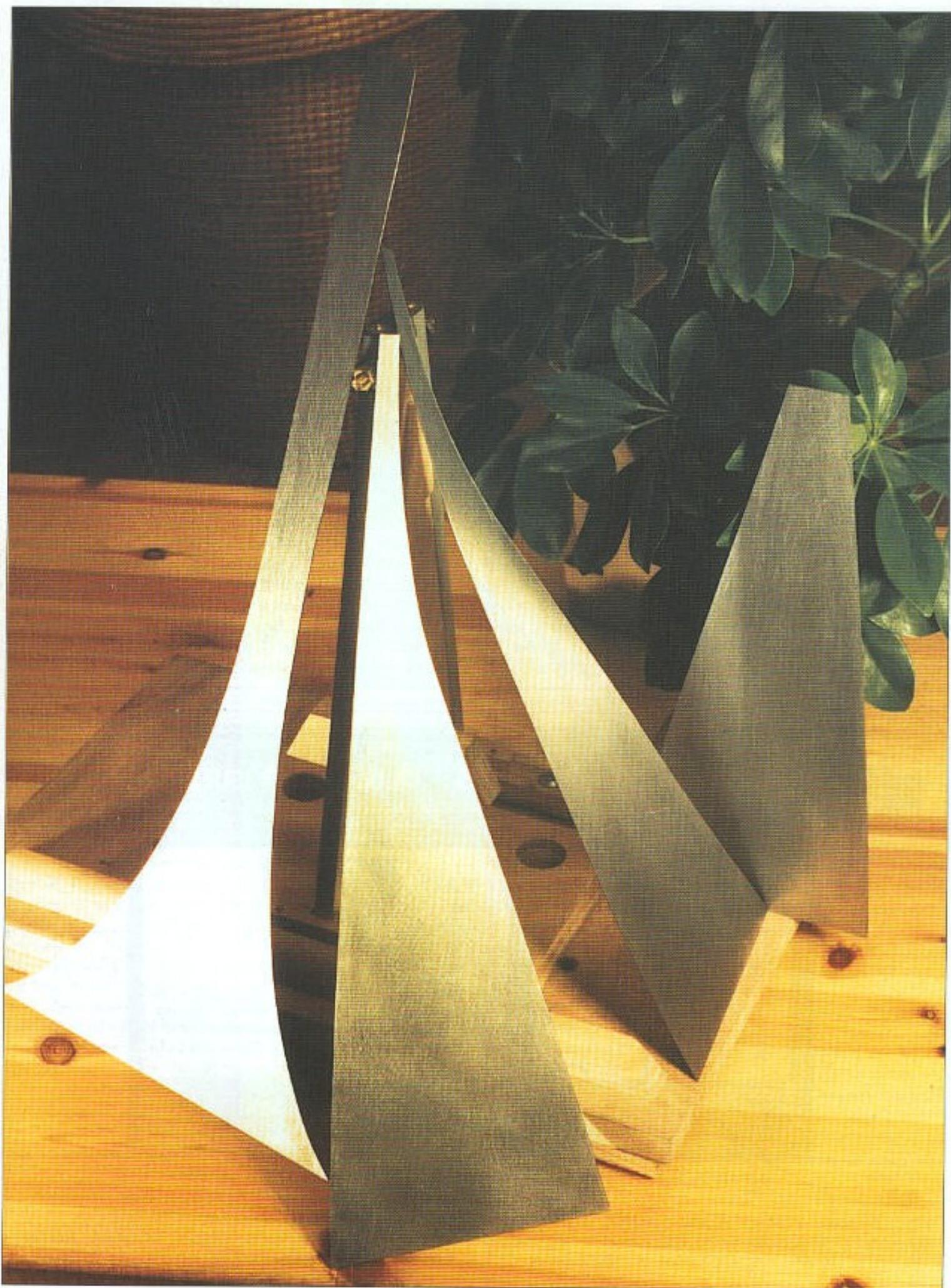


| Q Number | M.K. Part Number | Commercial Equivalent |
|----------|------------------|-----------------------|
| 701, 702 | 43024217 | None |
| 703, 704 | 43024306 | RCA 40408 |
| 705, 706 | 43024219 | PCA 42595 |
| 707, 708 | 43023221 | 215232 |
| 709, 710 | 43024218 | RCA 40594 |
| 711, 712 | 43024216 | RCA 40636 |

PRINTED CIRCUIT BOARD RECEPTACLE NUMBERS

Amplificateur stéréo 2x60 W Harman Kardon Citation 12 (Twelve). Le schéma, très simple, n'utilise que 7 transistors par canal, dont un double pour l'étage d'entrée différentiel.

**Page non
disponible**



- Réalisation personnelle -

BOIS ET SABLE : une méthode de construction de pavillons sectoriels à quatre cellules

Thierry Prévost

L

a recherche du "mieux", en Haute-Fidélité, est une quête parsemée d'embûches : la diversité apparente de l'offre en matériel est telle que l'acheteur a de quoi en perdre son latin - et son salaire - d'autant plus qu'une opération coûteuse pourra n'apporter qu'une amélioration infinitésimale du résultat audible. Toutefois, il peut arriver qu'une modification d'apparence bénigne apporte un résultat inespéré, ce qui montre qu'il vaut mieux, en général, savoir ce que l'on fait avant d'agir. Malheureusement, cela n'est pas toujours possible, des sons de cloches bruyants et contradictoires venant constamment brouiller notre jugement. Nous pourrions aussi parler des phénomènes d'auto-suggestion... Cette introduction a pour but d'expliquer ma démarche et pourquoi j'en suis venu à construire ces pavillons sectoriels en bois sablés.

En effet, ayant assisté à une présentation de matériels - amplis à monotriodes et "Voix du Théâtre" - par Jean Hiraga et William P. Walther, à l'hôtel Sofitel en 1986, je me suis posé la question de savoir comment obtenir cette qualité globale, cette dynamique sur les transitoires, même à volume faible ou moyen, cette pureté de son, qualités difficiles à retrouver, car les mêmes disques passés sur mon système de l'époque ne me permettaient pas d'avoir un tel résultat, malgré un soin tout particulier apporté à sa mise au point. Après avoir essayé toutes sortes de modifications - câbles, condensateurs, etc. - je me suis aperçu que la qualité n'avait pas sensiblement varié. Un ou plusieurs éléments limitatifs étaient donc présents dans la chaîne. Difficile d'admettre que mes Lowther PM6 - je trouve que ce sont les meilleurs médiums à membrane - amortissaient les diph-

tongues de Barbara... Et pourtant, le remplacement d'un PM6 par une chambre de compression et un pavillon sectoriel en bois sablé fit faire un bond en avant tout à fait extraordinaire à la qualité générale, à tel point que "la mâchoire m'en tomba", ainsi qu'à ma femme, mes amis, parents, connaissances... Mais ça, je ne pouvais même pas le savoir avant de les avoir construits... L'angoisse !

On sait que, depuis que l'air existe sur terre, la longueur d'onde sonore par rapport à la fréquence n'a pas vraiment varié. Les phénomènes liés à la propagation d'une onde dans un fluide ont été étudiés depuis longtemps et il serait illusoire de penser renouveler les acquis en ce domaine : des cerveaux surpuissants nous ont largement devancés.

Le calcul d'un pavillon n'est pas bien difficile ; pour de plus amples informations, il est bon de se procurer toute littérature sur la question et de

reprendre d'anciens numéros de L'Audiophile où tout est très bien expliqué.

J'ai pensé qu'un bon pavillon devait respecter la propagation de l'onde sonore. J'ai donc évité les ruptures de forme et les cavités ou renflements fréquemment employés pour contrôler la directivité ou la bande passante : un pavillon sectoriel contrôle à mon goût suffisamment la directivité pour une utilisation en Hi-Fi. La formule d'expansion devrait être autant que possible exponentielle, encore qu'on puisse opter pour une expansion hyperbolique : la puissance et la production proportionnelle d'harmonique 2 sont plus le problème des voisins que celui des pavillons. (Pour exemple, ce paragraphe dans un livre sur la théorie des ondes dans les pavillons acoustiques où l'auteur parle d'un "pavillon usuel de salle de cinéma", pour la qualité duquel il

n'est pas très exigeant et dont il tolère, à 2 000 Hz, 1/4 pour le rapport R^2 - rapport des vitesses de l'air pour l'harmonique 2 et pour le fondamental, ce rapport élevé au carré donnant lui-même le rapport des puissances rayonnées. Il obtient $W=4$ watts acoustiques environ, ce qui correspond à 35 000 baryes sonores. Nos oreilles ont lâché depuis longtemps !)

Après avoir observé la forme de la sortie d'un moteur dont je disposais - un Altec 806.8A - j'ai dessiné une prolongation de cette forme, ce qui évite déjà une première rupture. La jonction de la gorge du pavillon B avec la partie en bois sablé A a été construite aussi fine et régulière que possible, sans aspérités, et même lissée dans la deuxième paire modifiée. En ce qui concerne l'encombrement, il est évident que nous sommes tributaires de lois physiques inébranlables : les ondes sonores ondulent toujours sur les mêmes modèles impassibles. Nous pourrions donc déterminer les dimensions pour telle fréquence de coupure basse.

Il existe toutefois d'autres limitations draconiennes de dimensions qui, elles, sont absolument strictes, je m'explique :

Si l'obtention d'une fréquence de coupure plus basse passe nécessairement par l'augmentation de l'encombrement, il suffit d'augmenter les dimensions pour obtenir cette fréquence plus basse. (Il faudra aussi acquérir un moteur qui puisse descendre plus bas.) Or, si Madame ne veut pas en entendre parler, vous voilà condamné à rester sur le pas de la porte avec vos grands pavillons, voire même à les écouter - seul - dans la plus petite pièce, à vous allouée ! Pour éviter ce genre de contrariété cuisante, je pense qu'il ne faut pas négliger l'aspect général et la qualité de construction et commencer une éducation progressive des oreilles de l'être aimé par des visites régulières annuelles à l'Espace Kiron, en parallèle avec la fréquentation des salles de concert, ce qui somme toute ne peut être qu'agréable !

La construction proprement dite de

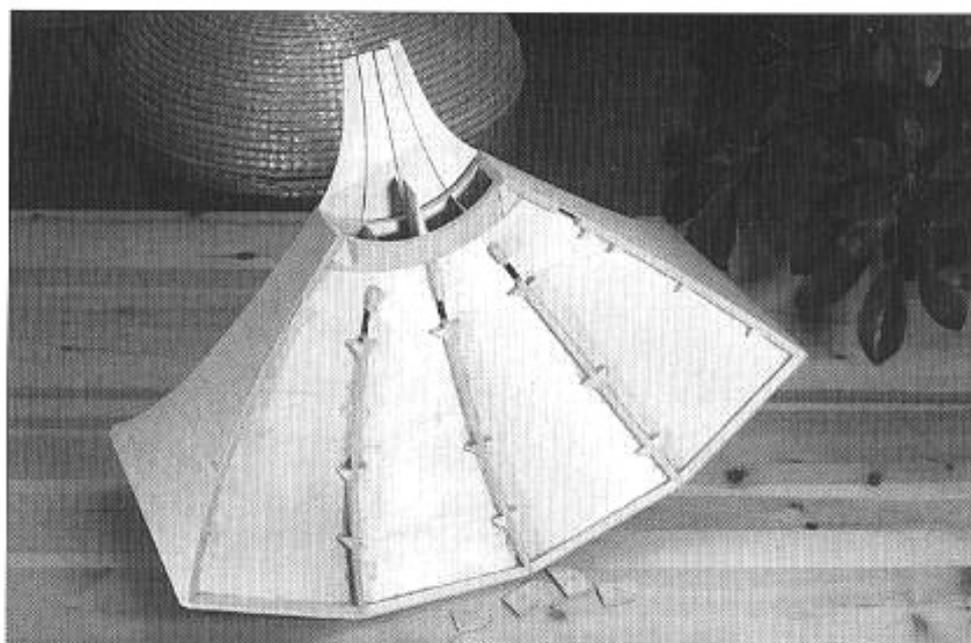


Photo 1 : vue de l'ensemble A, avant sablage de V à V' .

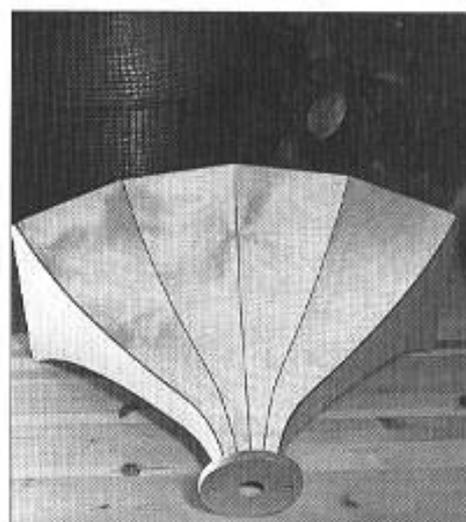
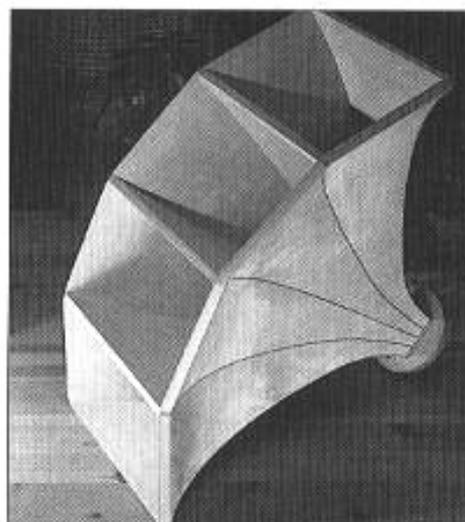


Photo 2 et 3 : il ne reste plus qu'à écouter...

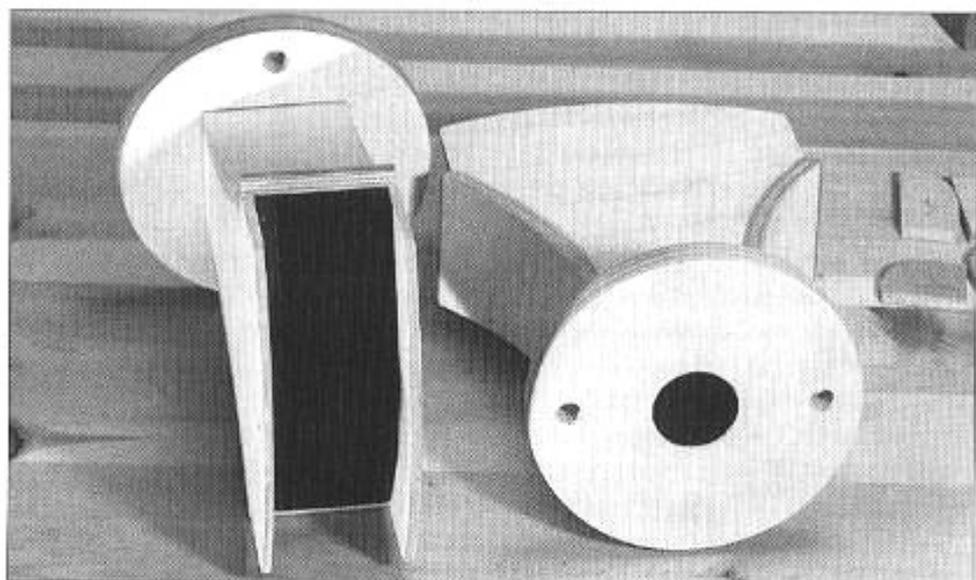


Photo 4 : ensemble B.

ce type de pavillon a été décrite et assez bien détaillée dans le n°35 de la revue par M. Le Dauphin. C'est cette méthode astucieuse que j'ai utilisée. Quelques points restaient obscurs à la lecture de cet article et méritaient quelques éclaircissements.

D'autres méthodes seraient possibles, sans aucun doute.

Le calcul et le tracé de la forme du pavillon engendrent une forme de gabarit (figure 5). Il est important de souligner que la mise au point de ce gabarit ne doit surtout pas être sous-estimée et que c'est en grande partie de lui que dépend le succès de

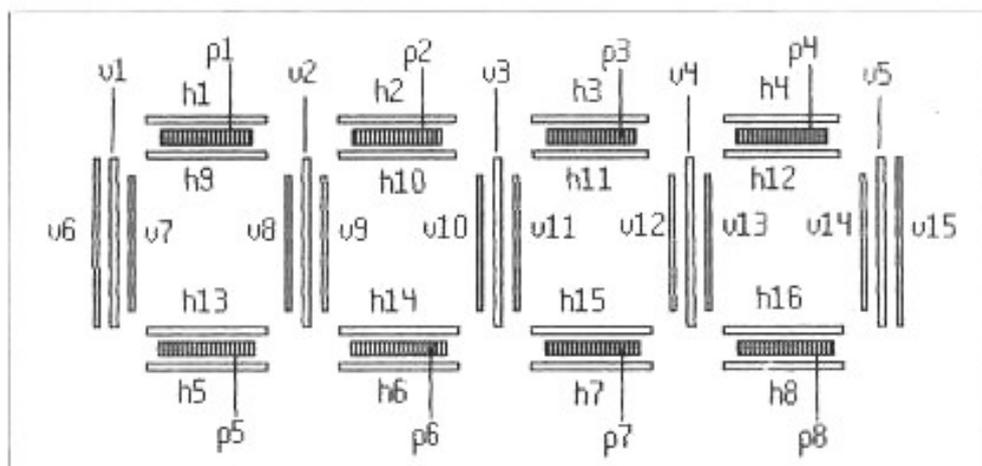


Fig 1 : numérotation des pièces de la partie A
v1...v5 contreplaqué 5mm ; v6...v15 : 3 plis 1,5 mm ;
h1...h16 : 3 plis 1,5 mm ; p1...p8 : carré 8 mm.

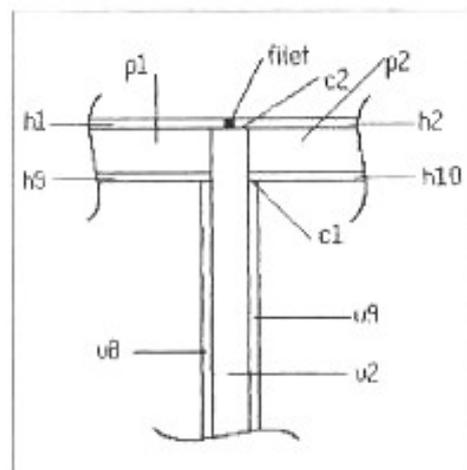


Fig 2 : vue frontale de l'assemblage.

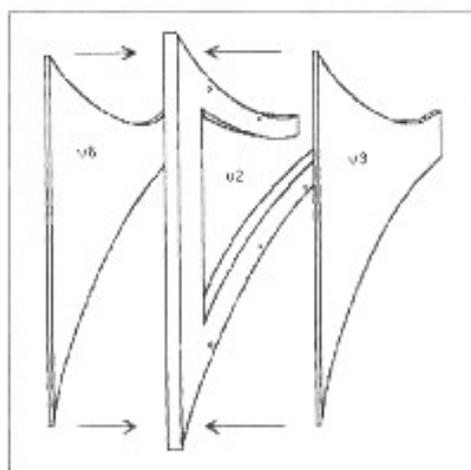


Fig 3 : assemblage d'une paroi verticale.

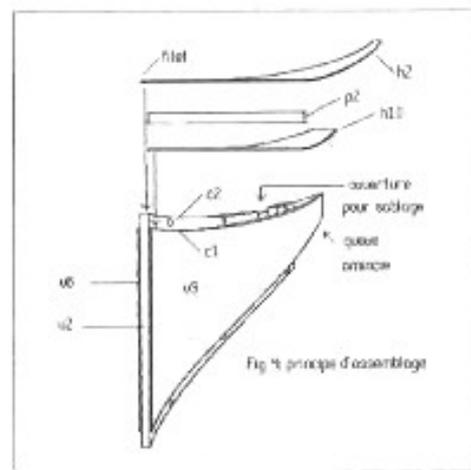


Fig 4 : principe d'assemblage.

l'opération. La précision doit être au moins égale au dixième de millimètre dans tous les axes car les erreurs de dimensions s'ajoutent toujours dans le même sens et l'on peut difficilement se permettre plus de 0,4 mm d'erreur en fin de collage : l'ensemble A ne s'adapterait plus à l'ensemble B. En fait, on peut facilement se retrouver avec 2 mm d'erreur (sur moins de 12 cm). Les gabarits de découpe en tôle G₁ et G₂ doivent, eux aussi, faire l'objet de soins tout particuliers. Ils doivent être parfaitement symétriques.

Les gabarits G₃ et G₄ seront à mettre au point en cours de montage, on peut même dire qu'avant de commencer à découper les tôles à la cisaille à main, il vaudra mieux faire un modèle en carton rigide et l'essayer sur le pavillon.

Nous voilà donc face aux diffé-

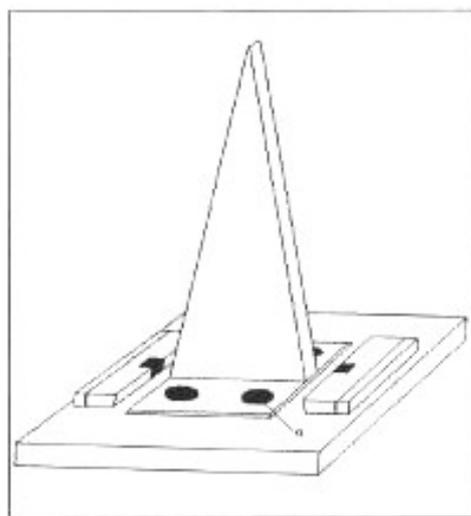


Fig 5 : gabarit de montage.

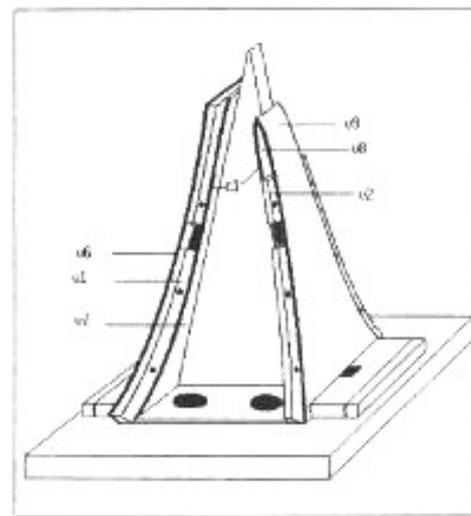


Fig 6 : placement de 2 ensembles verticaux.

rentes fournitures (onéreuses, le bois de bouleau 3 plis de 1,5 mm n'est pas donné), colle à bois, rouleaux de Sopalin à profusion, cutter aux innombrables lames de rechange, serre-joints à portée de la main, il ne reste plus qu'à commencer à décou-

per les éléments H₉ à H₁₆ et V₁ à V₁₅ de la partie A et ceux de la partie B. Ceux que les ampoules aux mains rebutent peuvent s'orienter vers l'utilisation d'une scie de modéliste, mais les gabarits de découpe devront être conçus en conséquence.

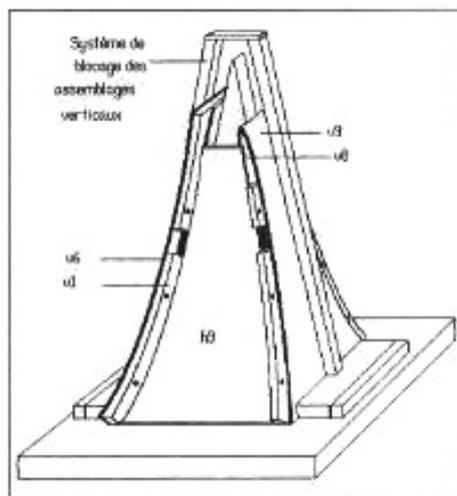


Fig 7 : placement de 2 feuilles horizontales.

Les pièces H₉ à H₁₆ devront être vernies, avant montage, sur la face visible, les bords C₁ seront dévernés de façon à pouvoir être collés.

De la même façon les parois verticales (figure 3) devront être vernies avant collage. Si on opte pour une finition bois, il faudra, autant que possible, découper les différentes surfaces de façon à ce que les dessins du bois soient respectés.

Nous pouvons à présent monter sur le gabarit (figures 5 et 6) V₆, V₁, V₇ et V₈, V₂, V₉ et coller H₉ et H₁₃ sur les arêtes C₁ (figure 7). La quantité de colle est critique. Nous calons

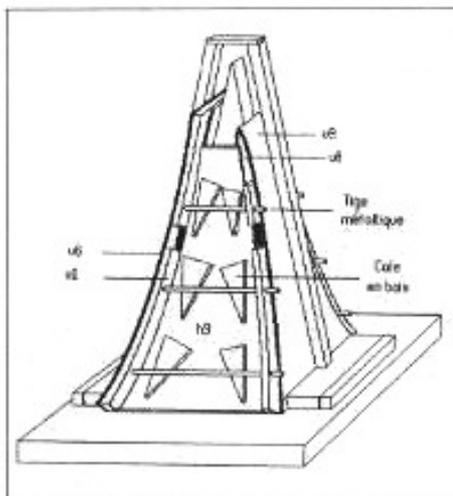


Fig 8 : maintien des 2 feuilles horizontales.

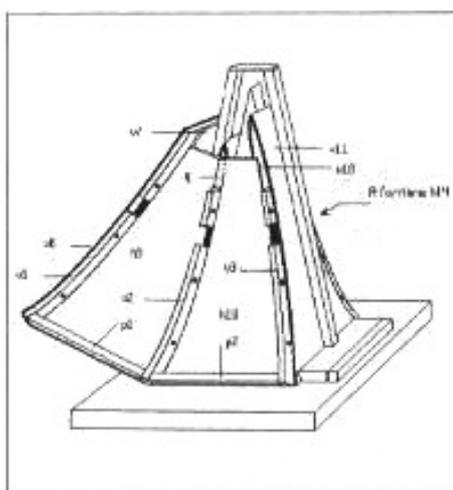


Fig 9 : fabrication de la deuxième cellule.

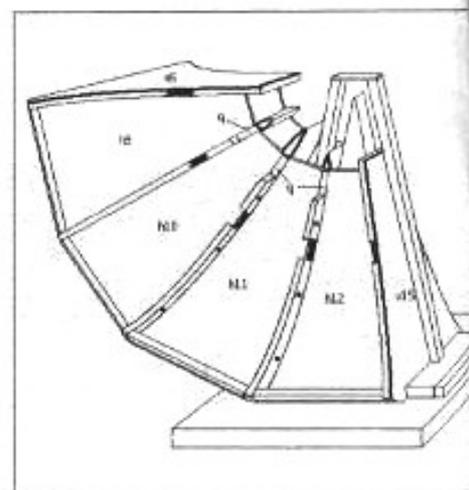


Fig 10 : fabrication de la quatrième cellule.

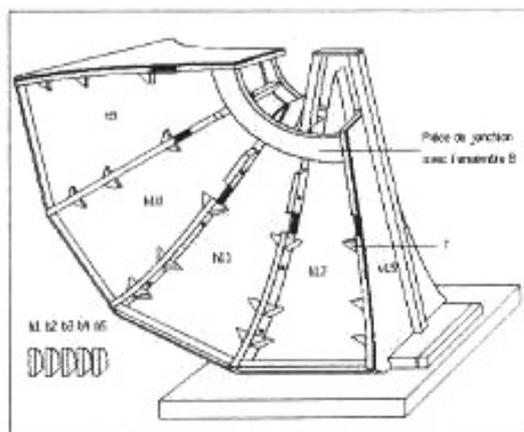


Fig 11 : l'ensemble A avant sablage.

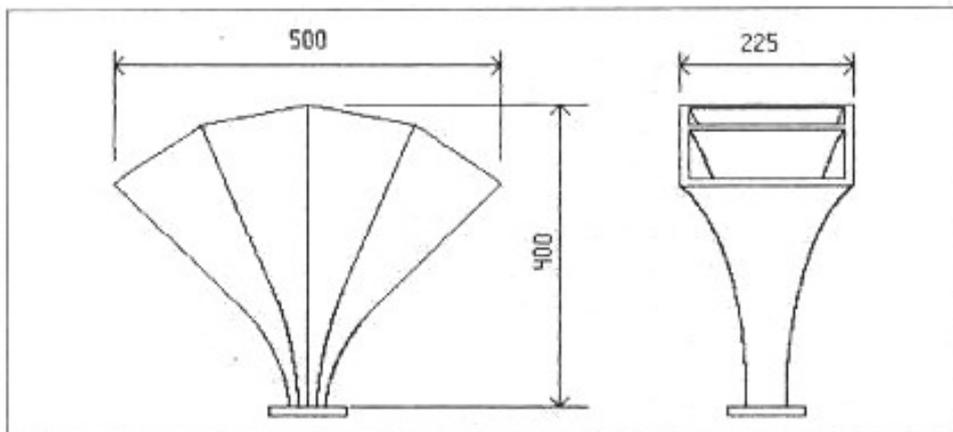


Fig 12 : cotes extérieures d'un pavillon.

les feuilles avec des tiges métalliques et des cales de bois (figure 8). On peut dès maintenant observer l'intérieur de la cellule par les trous O (figure 5) à l'aide d'un miroir de dentiste et d'une lampe de poche, de façon à pouvoir éviter in extremis les décolllements le long des arêtes C₁.

On a environ quelques secondes avant que la colle ne commence à prendre ! (D'autant que la température monte...) Nous collerons les pièces P₁ et P₅ après les avoir mises en forme à partir de carrés de 8 mm. L'épaisseur des pièces P, égale à la hauteur de C₂, moins celle de C₁,

moins l'épaisseur d'une feuille (1,5 mm) détermine l'épaisseur de sable dans le pavillon. Elle est égale ici à 8 mm (figure 2).

L'opération sera à répéter quatre fois : H₁₀ et H₁₄ sur V₉ et V₁₀, H₁₁ et H₁₅ sur V₁₁ et V₁₂ (figures 9, 10 et 11), etc.

On peut maintenant remplir de sable les parois verticales, boucher les trous avec B₁ à B₅ et coller à l'Araldite. Il faudra ensuite coller les taquets triangulaires T, ce sont des renforts de collage des surfaces extérieures, puis les pièces Q, rectangles qui se collent à l'endroit des queues

- les queues ont été remplies de résine (figure 11). On pourra éventuellement consolider l'ensemble avec de la résine à bois pour éviter les déformations dans le temps.

Nous collerons les pièces de jonction avec l'ensemble B (figure 11) à ce stade, après les avoir mises en

forme. Si on en est à son premier pavillon, on mettra au point la forme des gabarits G_3 et G_4 et on découpera les huit pièces extérieures H_1 à H_8 . Si on tient à mettre des filets en bois exotique, comme je l'ai fait, il faut les coller sur les bords des pièces H_2 , H_3 , H_6 et H_7 , avant leur collage sur A (figure 4).

En ce qui concerne le collage et le placement des pièces H, il faut savoir que non seulement l'esthétique mais aussi la fiabilité en dépendent. C'est pourquoi nous encollerons les taquets triangulaires avec de l'Araldite rapide et les arrêtes C2 à la colle à bois. (Pas de mélange !) Et nous collerons ensuite H_1 à H_8 en étant intimement convaincus que les pièces sont jointives car nous aurons, auparavant, passé des heures à les ajuster.

Ensuite, il faudra coller les derniers filets extérieurs et s'assurer que A s'ajuste bien dans B. Sinon, gratter et limer et rogner...

Il faut maintenant mettre en forme

l'intérieur de la pièce B (On suppose que les pièces constitutives de B sont déjà collées, on ne s'en est même pas rendu compte, à croire que ça s'est fait tout seul...)

J'ai utilisé une résine plastique de marque "Cosmo-fer" en deux composants, c'est une espèce de plastique blanc comme du plâtre mais très dur et dense. L'avantage est que ce produit se travaille très bien à la lime et ne se rétracte pas.

Il faut donc mettre la résine en quantité suffisante et enlever le surplus à la lime de façon à mettre en forme l'intérieur de la gorge. Nous évoluerons donc d'un cercle de $\varnothing 25,4$ mm vers un rectangle de la dimension de la sortie de B et de l'entrée de A, en respectant la progression exponentielle - ou hyperbolique. J'ai évité le plomb car il se colle bien mais se décolle tout aussi bien, même si on ne lui demande rien !

Nous pouvons donc maintenant

remplir de sable. A propos de sable, j'ai utilisé un mélange de deux sables de granulosités différentes : un sable fin courant et un sable pulvérisé. L'avantage de procéder ainsi est que le sable pulvérisé remplit les interstices laissés entre les grains de l'autre sable. L'inconvénient est que cette poussière est très légère et volatile et coule difficilement. Nous voilà dans un nuage... Nous pouvons vibrer l'ensemble avec une ponceuse vibrante entourée d'un chiffon épais.

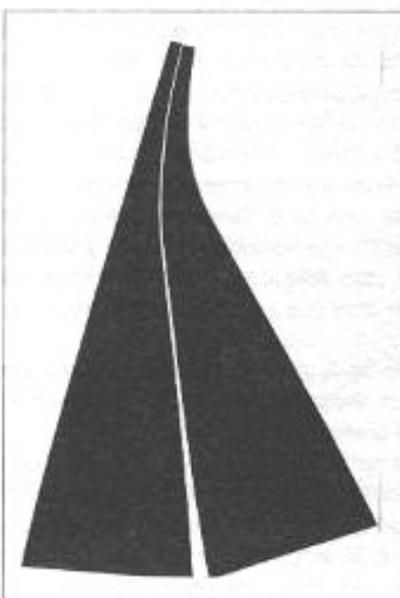
N.B. : le sable doit être absolument sec, il faut le chauffer pour le sécher. Patience ! C'est long ! Nous collerons A et B à l'Araldite à prise lente et laisserons prendre la colle 24 h. Nous collerons ensuite les queues de H_1 à H_8 à la colle à bois et nous nous adonnerons à de petits travaux de marqueterie qui paraissent maintenant bien faciles en rapport avec ce que l'on a enduré jusqu'à maintenant.



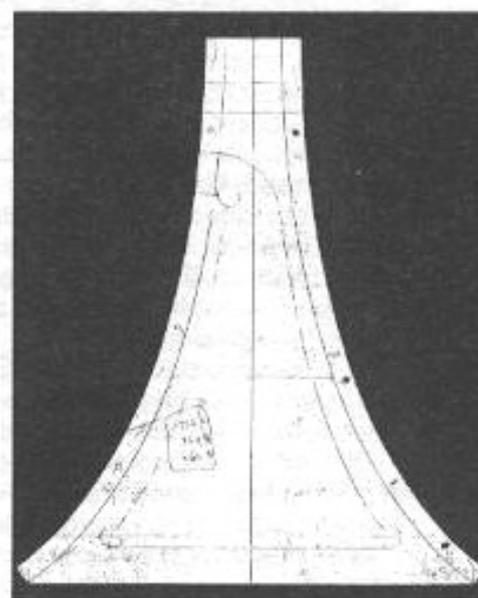
G_1 : pour H_9 à H_{16}



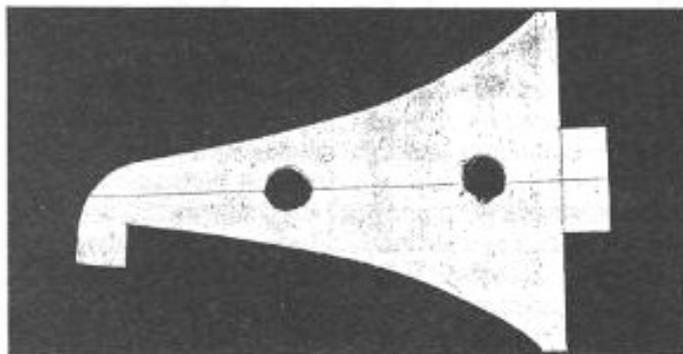
G_2 : pour V_7 à V_{14}



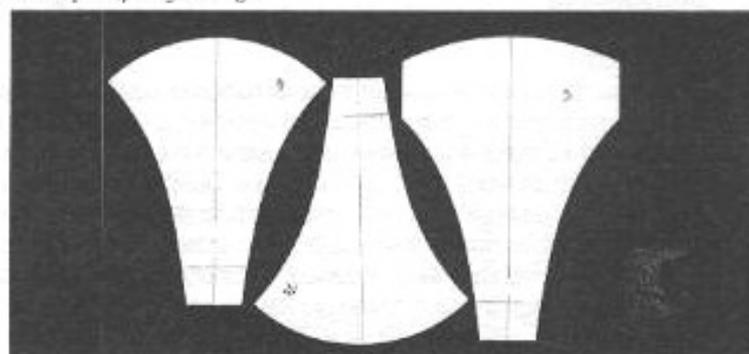
G_3 : pour H_2 , H_3 , H_6 et H_7
 G_4 : pour H_1 , H_4 , H_5 et H_8



G_5 : pour V_1 à V_5 , V_6 et V_{15}



G_6 : forme intérieure de V_1 à V_5 (cavité à remplir de sable)



G_7, G_8, G_9 : Pièces de l'ensemble B.

Un petit vernis clair et voilà le travail ! Maintenant, nous pouvons commencer le deuxième pavillon (à moins que l'on opte pour la monophonie comme certains audiophiles japonais qui ne supportent pas la stéréo !) Il est bien évident que le suivant se fera beaucoup plus vite que le premier, maintenant c'est presque de la routine !

En conclusion, on peut être persuadé que quelqu'un qui se perd dans le montage d'un meuble en kit

ne sera pas intéressé par la construction d'un pavillon sectoriel en bois sablé. Pour tous les autres, cette approche peut être intéressante, car s'il y a effectivement un investissement en temps considérable, en revanche l'investissement financier est raisonnable et je dirais même plus, excessivement faible par rapport au gain obtenu en qualité.

En tout cas, maintenant je trouve que mes amplis sont mauvais, nuls... C'est de l'auto-suggestion !

BIBLIOGRAPHIE

- P. Hemardinquer & M. Leonard : "Les enceintes acoustiques", Librairie parisienne de la Radio, 1972.

- Y. Rocard : "Dynamique générale des vibrations", Editions Masson, 1960.

- L'Audiophile n°35.

COMPLÉMENT MESURES

Jean Hiraga, Didier Flacon

Il est utile, pour ne pas dire indispensable de compléter la réalisation d'un pavillon par une série de mesures. Ces mesures concernent deux modèles de pavillon, presque identiques, variant seulement au niveau de leur longueur. Il en résulte pour le pavillon légèrement plus long, une coupure basse un peu plus étendue ainsi que d'autres petites différences au niveau de la réponse amplitude/fréquence, que l'on retrouvera d'ailleurs à l'écoute.

Nous tenons tout d'abord à préciser que la chambre de compression utilisée est le modèle Altec 806/8A. C'est un modèle peu récent, moins populaire que des versions comme les séries 802 ou 288 du même constructeur. Compte tenu de sa petite taille, cette chambre de compression s'utilise de préférence au dessus de 700 à 800 Hz.

Fig. 1 : moteur Altec 806/8A seul. Réponse amplitude/fréquence du moteur seul, avec micro placé à 2 cm dans l'axe. La fréquence de résonance est de l'ordre de 400 Hz. Elle fait apparaître en conséquence une chute de niveau au dessous de cette fréquence. La résonance qui apparaît vers 1,9 kHz ainsi que l'harmonique de celle-ci (3,8 kHz) sont dues au fait que le moteur n'est pas chargé par le pavillon. Le volume compris entre la membrane et la face avant du moteur se comporte alors comme une charge quasi-tubulaire, d'où formation des résonances citées, si l'on n'en tient pas compte, la réponse niveau/fréquence présente une bonne linéarité entre 1,5 kHz et 14 kHz environ.

Fig. 2 : moteur Altec 806/8A + pavillon Prévost (version longue). Micro placé dans l'axe, à 5 cm de l'embouchure. L'ensemble procure une coupure basse située à 500 Hz, avec atténuation très rapide (environ 24 dB/octave) en deçà de cette fréquence. Entre 500 Hz et près de 10 kHz la réponse niveau/fréquence est très homogène, sans accident. L'atténuation douce du niveau aux fréquences élevée est normale.

Fig. 3 : moteur Altec 806/8A + pavillon Prévost (version longue). Micro placé à 1 m, dans l'axe. La réponse niveau/fréquence globale est particulièrement uniforme et on ne note pas, chose curieuse, d'atténuation de niveau au dessus de 10 kHz, comme pourrait laisser présager une réponse pavillon proche de celle de la fig. 2. Les petites non-linéarités visibles à 1,1 kHz et à 2,3 kHz sont liées à la chambre de compression elle-même.

Fig. 4 : même condition que pour la fig. 3, mais avec le micro placé sous une incidence latérale de 30°, à 1 m de distance. Heureuse surprise, car la réponse amplitude/fréquence tend à se lisser et à s'équilibrer sur le plan de la balance tonale. Le petit creux visible vers 6,1 kHz est dû à la chambre de compression.

Fig. 5 : mêmes conditions de mesure qu'en fig. 3, avec micro à 1 m dans l'axe, avec mesure en tiers d'octave. L'analyse en tiers d'octave à partir de bruit rose révèle une réponse légèrement descendante vers l'aigu, quoique très uniforme. L'atténuation en pente douce au dessus de 10 kHz laisse présager un bon raccordement avec le tweeter, à partir d'environ 10 kHz.

Fig. 6 : mêmes conditions de mesure que sur la fig. 3, mais avec représentation de la forme d'extinction du signal en fonction de la fréquence entre 0 et 3 ms. L'extinction du signal s'effectue de manière parfaitement uniforme à toutes les fréquences, ce jusqu'à 2 millisecondes environ. C'est remarquable. Les petites irrégularités qui apparaissent après 2 ms sont liées aux caractéristiques mêmes du moteur.

Fig. 7 : chambre de compression Altec 806/8A associée au pavillon Prévost, version courte, mesure effectuée à 5 cm dans l'axe. Le résultat s'apparente de près à celui présenté sur la fig. 2 (pavillon long). On note toutefois une petite extension de la réponse dans l'aigu.

Fig. 8 : chambre de compression Altec 806/8A associée au pavillon Prévost, version courte, mesure effectuée à 1 m dans l'axe. Le résultat est proche de celui de la fig. 3, mais avec une linéarité de réponse amplitude /fréquence légèrement supérieure. La réponse s'étend jusqu'à au moins 14 kHz, sans atténuation.

CONCLUSION

Nous avons déjà eu l'occasion de tester de nombreux pavillons, la plupart conçus par des fabricants connus, d'autres réalisés par des amateurs français ou étrangers. Le pavillon Prévost est le premier que nous rencontrons qui a été réalisé avec autant de soin et de précision. Autre point important : bien qu'il s'agisse d'un pavillon en bois sablé, il n'a été constaté aucun problème concernant les collages de ces pavillons dont la réalisation n'a pourtant rien de récent. C'est plutôt bon signe. Quant aux résultats d'écoute, ils sont remarquables. De telles performances mériteraient le développement d'autres projets du même genre, en association avec des chambres de compression célèbres comme les TAD TD 2001, les TD 2002 (nouvelle version) ou bien encore les Altec 288C. Avec de telles améliorations par rapport aux résultats habituels obtenus à partir de pavillons classiques en fonte, souvent mal assemblés, on démontre l'importance qu'il faut attribuer à la réalisation des pavillons : celle-ci est le plus souvent "baclée" pour une simple question de coût de revient. Le pavillon doit faire l'objet d'une fabrication extrêmement soignée, un peu comme s'il s'agissait d'optique. On obtient alors des performances de mesure et d'écoute qui se rapprochent de l'idéal théorique ainsi que la suppression de plusieurs défauts qui, comme cela a été prouvé maintes fois, ne sont pas liés au principe même de ce haut-parleur.

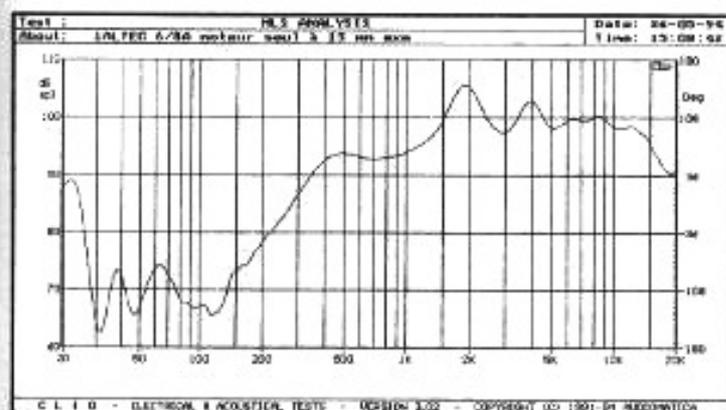


Fig 1 : moteur Altec 806/8A seul. Réponse amplitude/fréquence du moteur seul, avec micro placé à 2 cm dans l'axe.

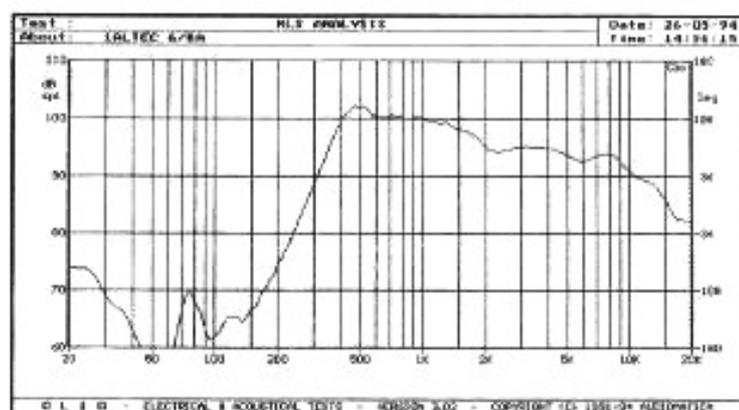


Fig 2 : moteur Altec 806/8A + pavillon Prévost (version longue). Micro placé dans l'axe, à 5 cm de l'embouchure.

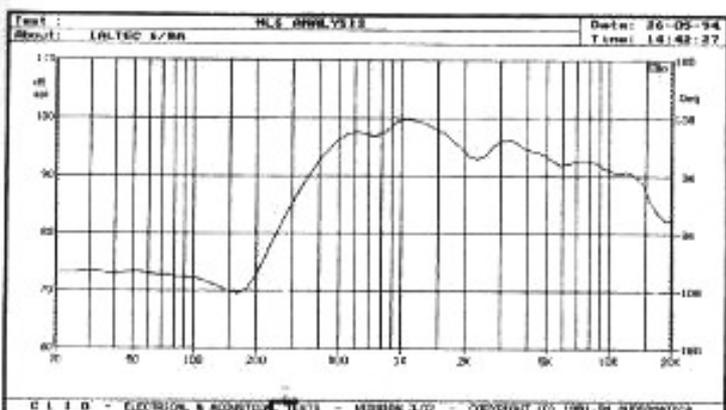


Fig 3 : moteur Altec 806/8A + pavillon Prévost (version longue). Micro placé à 1 m, dans l'axe.

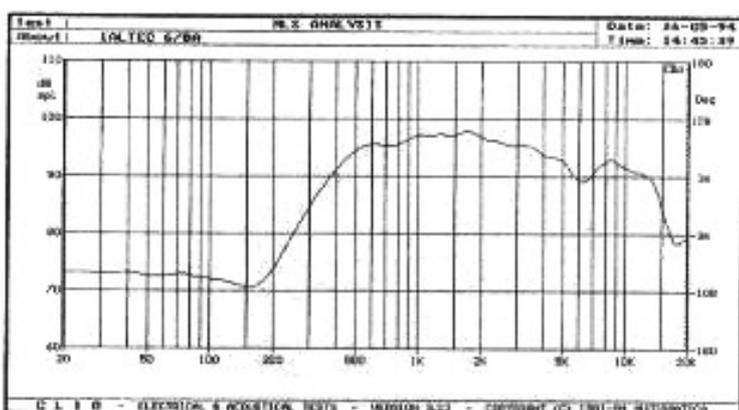


Fig 4 : même condition que pour la fig. 3, mais avec le micro placé sous une incidence latérale de 30°, à 1 m de distance.

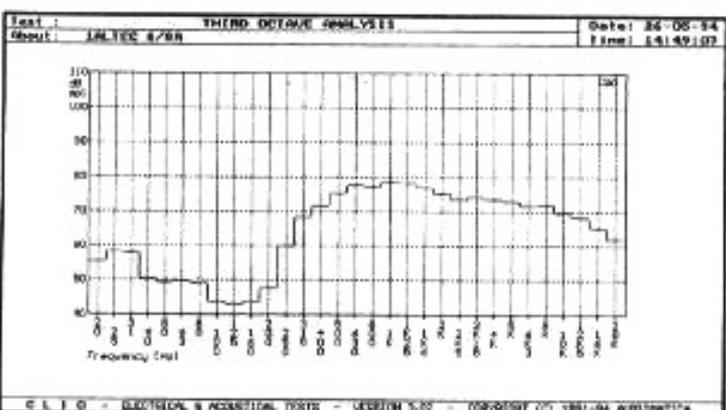


Fig 5 : mêmes conditions de mesure qu'en fig. 3, avec micro à 1 m dans l'axe, avec mesure en tiers d'octave.

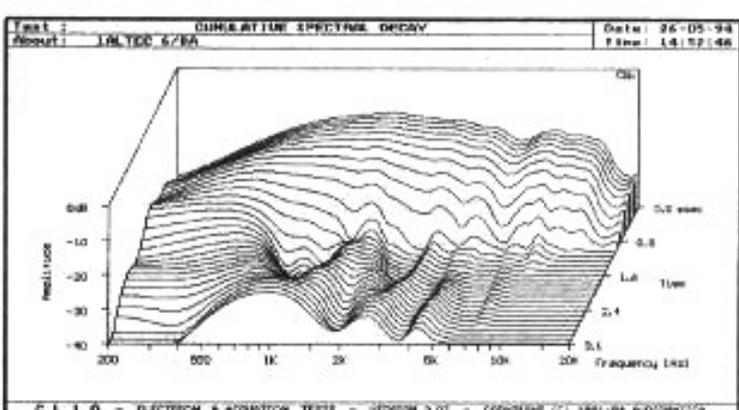


Fig 6 : forme d'extinction du signal en fonction de la fréquence entre 0 et 3 ms (condition de mesure de la fig. 3).

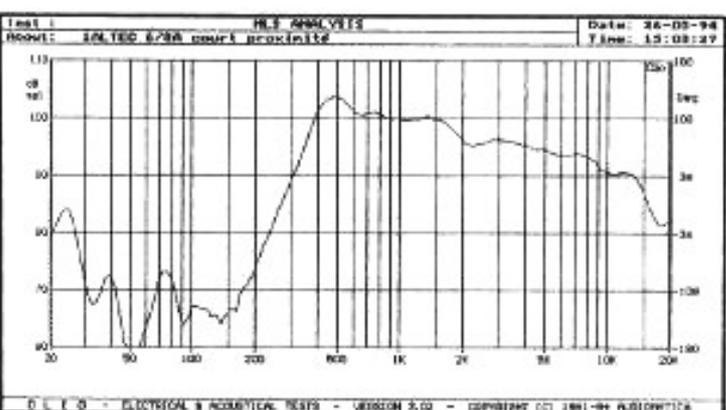


Fig 7 : moteur Altec 806/8A associé au pavillon Prévost, version courte, avec micro placé à 5 cm dans l'axe.

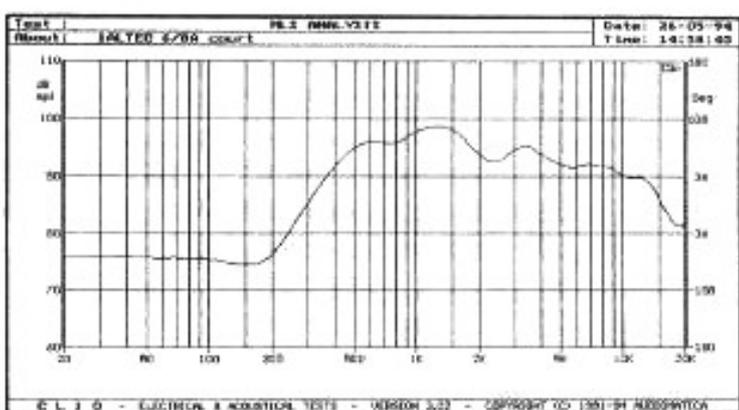


Fig 8 : chambre de compression Altec 806/8A associée au pavillon Prévost, version courte, mesure à 1m dans l'axe.

**Page non
disponible**

- Réalisation personnelle -

SEANCE DE MUSCULATION POUR C.D. ADCOM GCD 575

Jacques Daigneau

L

orsque paraissait l'article de Philippe David "Le Tuning - mode d'emploi" (*L'Audiophile* n° 25 - oct./nov. 1993), l'auteur de ces lignes achevait un projet d'amélioration de son lecteur de C.D. Adcom personnel. Mêmes maux, mêmes remèdes, direz-vous... Presque !

La réalisation que nous vous proposons est empreinte de la même philosophie mais se veut moins ambitieuse tant par les moyens à mettre en œuvre que par nos compétences dans ce domaine, même si rigueur et soin restent de mise.

Bon, alors, l'Adcom, direz-vous ! Un 16 bits traditionnel éprouvé (Philips TDA 1541) bien mis en œuvre, Audio-Technica s'étant même penché sur le berceau du bébé, nous dit-on dans le banc d'essai de *La Nouvelle Revue du Son* (oct. 1989). Plus intéressant encore, l'étage de sortie fonctionne en pure classe A, qui plus est sans condensateurs de liaison (couplage direct), ce qui ne déplaira pas à P. Johannet (cf. articles sur la

mémoire des composants).

Là où le tableau s'assombrit, c'est lorsqu'on soulève le capot (léger) : châssis en tôle pliée, transformateur d'alimentation maigrichon de provenance inconnue (Sud-Est asiatique) coincé entre le système de lecture et la carte-mère où résident l'ensemble des composants sensibles. Bigre, si ça vibre et rayonne (ce qui est, hélas, toujours le cas), bonjour les soins apportés au reste !

Diagnostic

Il y a là matière à améliorer le design.

Remède

Muscler la dite alimentation en la soulageant de quelques tâches

primordiales, filtrer le secteur et loger le tout à l'extérieur dans un boîtier ad hoc et, puisqu'on y est, saupoudrer de quelques plaques de matériau amortissant aux endroits stratégiques.

Coût/risques

Environ 750 F, modification **entièrement réversible** et à la portée de tout individu soigneux disposant au minimum d'un fer à souder, d'un multimètre basique et d'une perceuse pour le coffret externe. Nul besoin de compétences particulières en électronique, on reste dans le domaine de l'électricité.

Attention toutefois, vous invalidez la garantie du constructeur... mais vous le saviez déjà !

Ingrédients

1 transfo 230 V/2×18 V de 40 à 60 VA maxi (torique ou double C)

1 filtre secteur Schaffner type FN 9675 - 3/06 ou FN 670 - 1,8/06

1 coffret pour loger le tout (dimensions en fonction du choix du transformateur)

1 fusible et un porte-fusible

1 ou 2 interrupteurs (option : voir texte)

1 ou 2 jeux de connecteurs (femelle châssis, mâle cordon), il y a 9 fils à connecter

1 ou 2 tores de ferrite

Câble type PTT monobrin en 2 paires et 3 paires ou 5 paires

1 passe-fil ou 1 ensemble de connexion type IEC - Bulgin (mâle châssis, femelle cordon).

Mode d'emploi

Le transformateur d'origine, dont nous avons dit tout le bien que nous en pensions, dispose d'enroulements multiples sur le secondaire pour alimenter les circuits analogiques, numériques et de gestion (affichage). Le pauvre semble bien frêle et, ne pouvant être au four et au moulin, il faut lui adjoindre un grand frère... (voire deux pour les puristes... l'auteur n'est pas allé jusque là, mais il y songe !) afin de le soulager. Concrètement, on confiera l'alimentation de la partie analogique (connecteur P301) à un second transformateur (voir schémas).

Schéma n° 1

Il s'agit d'un schéma simplifié de l'alimentation d'origine avec les numéros de référence des connecteurs et de leurs contacts ainsi que la couleur des fils, tels qu'ils figurent sur la documentation constructeur et sur l'appareil.

P305 et P306 sont implantés sur une petite carte située au fond du lecteur à proximité du cordon secteur et sont commandés par l'interrupteur Marche/Arrêt d'origine.

P303, 302 et 301 sont situés sur la carte principale, en amont des circuits de redressement et de régu-

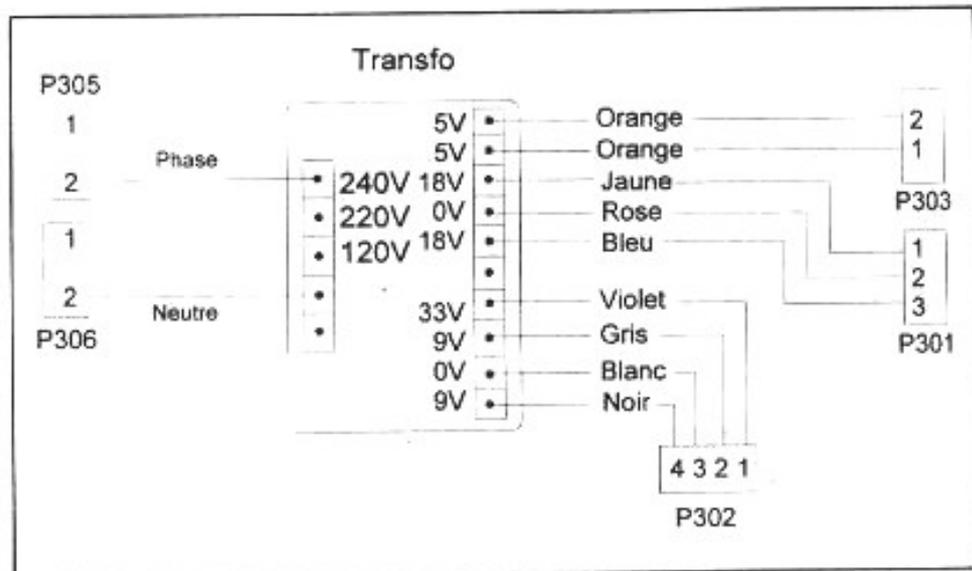
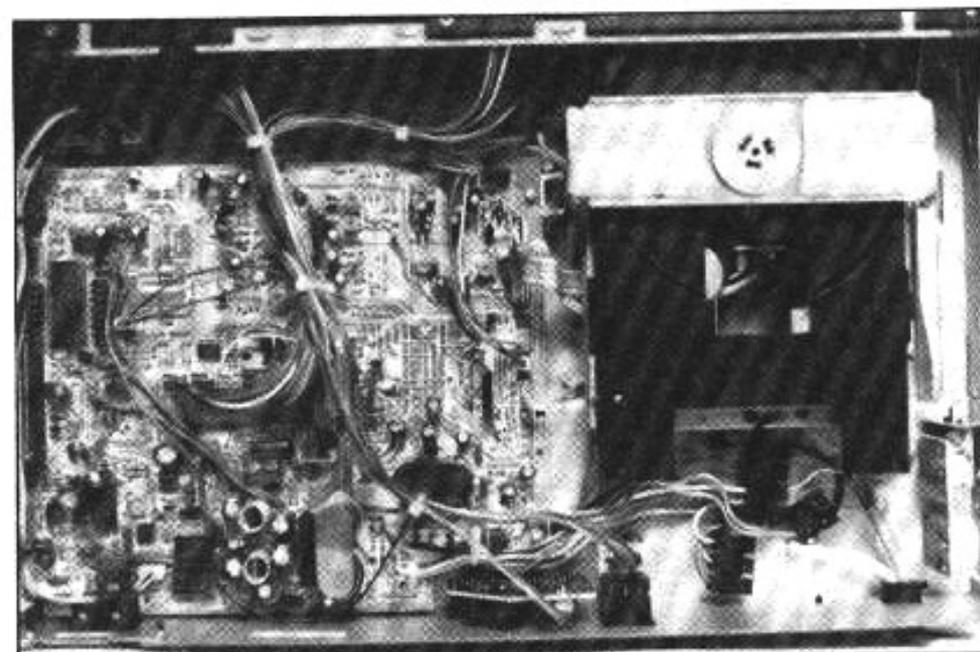


Schéma n° 1. Implantation d'origine.



Lecteur Adcom après modifications (transfo d'origine enlevé, pavés de Blu Tack et blindage des C.I.).

lation (c'est-à-dire avant les ponts de diode et les régulateurs 7805, 7815 et 7905, 7915).

P303 distribue du 5 V alternatif dédié au panneau d'affichage du lecteur.

P302 distribue du 2×9 V alternatif pour l'ensemble de la partie digitale (moteur, faisceau laser, etc.) et du 33 V alternatif pour une autre partie dédiée au panneau d'affichage et fonctions connexes.

P301 distribue du 2×18 V alternatif dédié principalement à la partie analogique (étages de sortie).

Il s'agit là bien entendu des tensions alternatives de sortie du transformateur.

Schéma n° 2

Il s'agit du schéma du boîtier d'alimentation tel que réalisé par l'auteur. Vous noterez l'interposition du filtre Schaffner avant les transfos et la présence du second transformateur chargé d'alimenter le bornier P301 (2×18 V AC), le transformateur d'origine alimentant, comme auparavant, les deux autres borniers (P302 et P303).

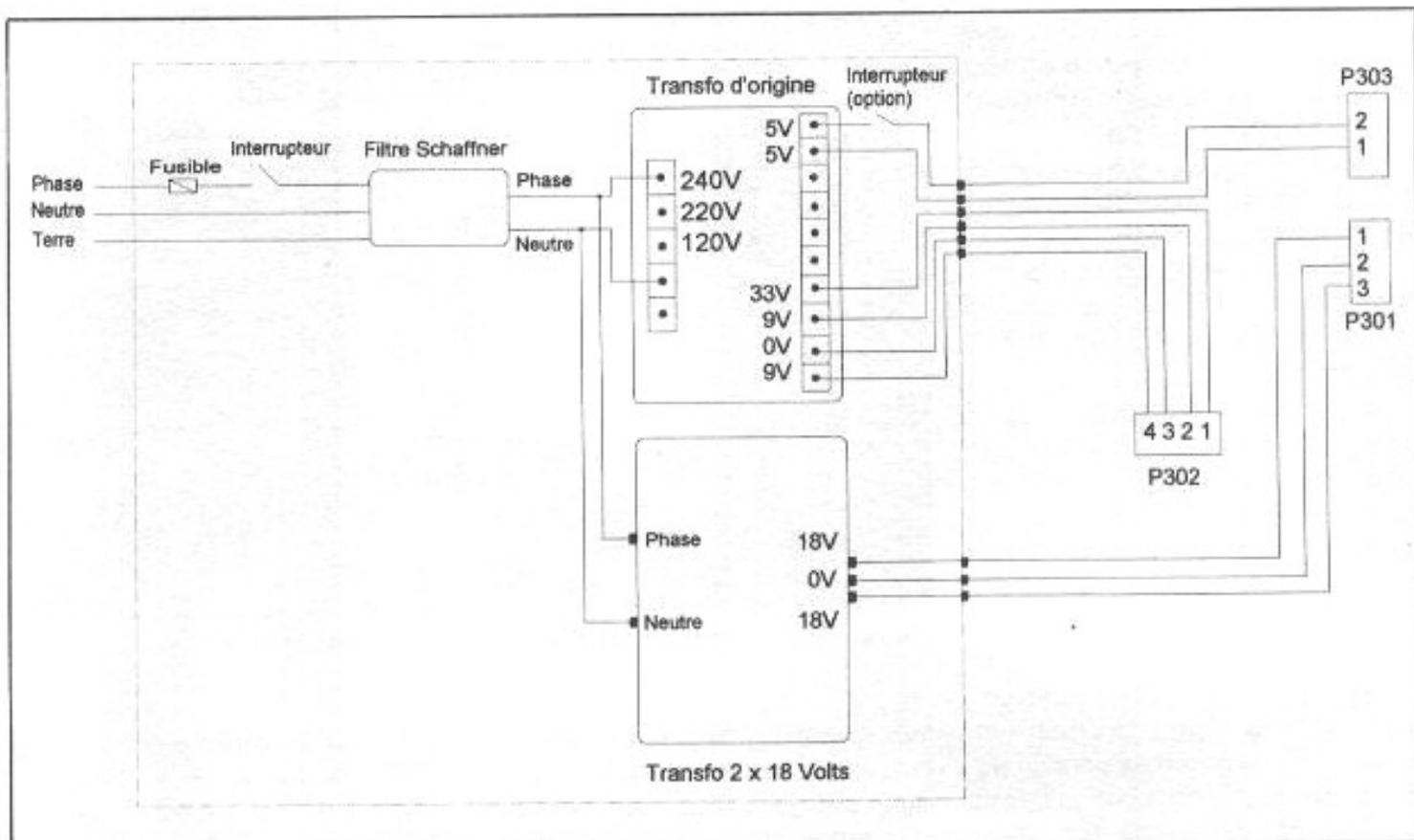


Schéma n° 2. Alimentation modifiée, en pointillés figure le coffret.

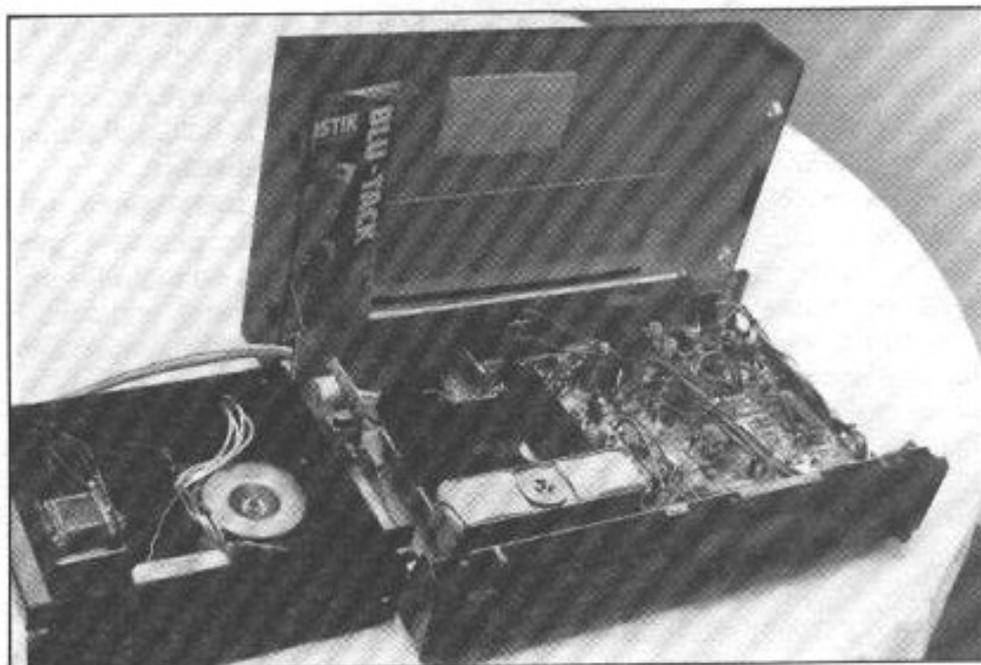
Mise en œuvre

Dessoudez soigneusement tous les fils de connexion sur le transfo d'origine dans le lecteur, puis sur les picots des différents borniers (P306, 305, 303, 302 et 301).

Dévissez les deux écrous de fixation du transformateur et l'enlever.

Dessoudez le cordon d'alimentation secteur du C.D. puis l'extraire afin de pouvoir agrandir le passe-fil situé en face arrière du lecteur... car nous devons y faire passer plus tard le ou les câbles types PTT venant de l'alimentation externe (à moins de démonter entièrement le C.D. afin de pouvoir le percer pour y fixer des connecteurs, ce qui est une toute autre histoire !).

Procédez ensuite au perçage et au montage du boîtier d'alimentation et y implanter l'ensemble des composants et des fils. Bien connecter les deux transfos en phase, s'aider éventuellement d'un voltmètre et d'une vraie terre pour



Lecteur modifié et son alimentation externe (le transfo d'origine à gauche, le torique 60 VA à droite).

détecter le sens de branchement phase-neutre du deuxième transfo s'il n'est pas repéré.

S'agissant de la sortie du boîtier d'alimentation externe, il y a 9 fils à connecter.

L'auteur a utilisé deux connecteurs de sortie (1 connecteur femelle 3 broches pour le transfo dédié à l'analogique, 1 connecteur femelle 5 broches pour l'autre) et deux câbles de type PTT écrantés

(un de 2 paires, l'autre de 3 paires) munis de ferrites. On peut n'utiliser qu'un seul connecteur (9 broches) et un seul câble (5 paires).

Insérez le ou les câble(s) dans le lecteur par le passe-fil d'origine (préalablement agrandi).

Enfin, il ne reste plus qu'à raccorder dans le lecteur tous ces fils sur les trois borniers P301, 302 et 303.

Vous noterez que c'est maintenant l'interrupteur du boîtier externe qui commande la mise en route du lecteur, celui situé sur l'Adcom étant déconnecté. Vous pouvez placer les tores de ferrite sur les différents câbles (arrivée et/ou sortie).

Une option, que dis-je, une coquetterie susceptible d'améliorer l'écoute. Cet appareil ne permettant pas d'origine d'éteindre le panneau d'affichage, on pourra fort judicieusement intercaler un interrupteur entre le transfo et le bornier P303 et le tour est joué... on peut savourer à l'aveugle.

Pour une meilleure immunité du lecteur aux vibrations internes et surtout externes, nous avons utilisé des pavés de pâte adhésive Bostik Blu-Tack principalement sous le capot, dans le fond, sous le chariot et sur l'étrier support du mécanisme de lecture que nous supposons être d'origine Teac. Le Blu-Tack est une sortie de pâte à modeler se présentant sous forme de plaques d'environ $20 \times 7,5 \times 0,3$ cm... très prisée par les Audiophiles britanniques et utilisée par les gens de chez Tannoy, Goodmans, Creek, etc. Ils en mettent partout, y compris autour des condensateurs céramique afin de les empêcher de vibrer. On peut le trouver chez certains revendeurs de matériel pour les beaux-arts (si, si!).

Enfin, nous avons disposé une plaque de granit sur le lecteur afin de l'alourdir sensiblement, placé un bouchon (fiche Cinch chargée par une résistance de 75Ω) sur la sortie



Vue sur l'ensemble de la chaîne. La platine analogique sert encore... beaucoup comme référence.

numérique de l'appareil et blindé à la feuille de cuivre certains composants critiques (C.I., convertisseur et condensateurs d'alimentation) selon les recommandations de Philippe David.

Il va sans dire qu'il faudra ensuite laisser chauffer au moins une petite heure, que le lecteur devra être installé selon les règles de l'art (bon support) et le boîtier d'alimentation à quelque distance.

L'écoute est transfigurée, tout semble plus fluide, plus aéré, avec plus de punch, en un mot plus musical. Le jeu en vaut vraiment la chandelle et une confrontation avec d'autres matériels plus huppés serait très intéressante.

N.B. : On pourrait aller encore plus loin en se penchant sur des facteurs tels que : puissance des transfos (25, 40 ou 60 VA !), structure (torique ou carré, voire double C). Ces pistes intéressantes restent à explorer. Qui relèvera le gant ?

Où trouver les ingrédients ?

• Pour les transfos, on peut contacter la société Ismet, 128 bis, av. J. Jaurès, Parc Mure, 94851 Ivry-s/Seine Cedex - Tél. : (1) 45.21.11.00.

• Pour le câble monobrin type PTT, société Aparex, 126 bis et 130, av. de Verdun, 92133 Issy-les-Moulineaux Cedex - Tél. : (1) 46.45.00.05.

• Pour les autres composants (y compris éventuellement les transfos), Saint-Quentin Radio, 6, rue St-Quentin, 75010 Paris - Tél. : (1) 40.37.70.74.

• Pour la pâte adhésive Blu-Tack, Galerie Hit-Melody, 62, rue des Ecoles, 75005 Paris - Tél. : (1) 43.26.80.96.



Le lecteur CD en sandwich (plaque de granite + support médite amorti), le tout monté sur pointes de découplage.

**Page non
disponible**

**Page non
disponible**

INSTRUMENTS DE MUSIQUE

LA RESTAURATION DES PIANOS ANCIENS

Maxime et Florian Louineau

L

a facture instrumentale n'est pas un sujet couramment abordé dans L'Audiophile. Pourtant tout l'art de la reproduction sonore repose nécessairement sur l'existence de la musique vivante, précisément sur son exécution par des musiciens.

Ceux-ci l'interprètent, lui donnent forme, couleur et substance.

Dans cette naissance de l'œuvre musicale, l'instrument, en tant que médium, joue un rôle considérable. Se pose alors pour tout individu normalement curieux le problème de la facture de cet indispensable médium.

On constatera pourtant avec surprise combien cet aspect de la création musicale reste mystérieux, comme relégué au rang des techniques indispensables, mais inavouables, au rang des utilités. Caricaturant, on pourrait dire que l'audiophile parle reproduction - électronique, câble et condensateur -, le mélomane parle musique, exécution, concert et au final, l'instrument, d'où vient le son, ne suscite guère d'intérêt. Parce qu'elle est au cœur du phénomène musical, la facture instrumentale mérite bien, nous semble-t-il, quelques commentaires dans ces colonnes...

Du clavecin au Piano : trois siècles de métamorphoses

Le piano moderne tel qu'on le connaît aujourd'hui ne date pas d'hier. Non pas que les facteurs ne fassent plus évoluer l'instrument, mais les améliorations concernent à vrai dire des points mineurs ; dès les années 1930 l'instrument arrive à maturité et aucune révolution ne viendra bouleverser une perfection mécanique déjà acquise par bien des instruments de cette époque. Pourtant l'évolution fut lente et d'un clavecin du XVIII^{ème} siècle à

un Steinway contemporain il y a un gouffre qu'expliquent près de 300 ans de recherches intensives. Le clavecin : en effet, sauf à remonter jusqu'au psaltérion du moyen-âge et autres cymbalums - dont certains avatars tels que le santur iranien sont encore en usage - sauf donc, à évoquer ces lointains ancêtres, c'est bien du clavecin qu'est né le piano. Du clavecin et du désir de combiner la puissance sonore de celui-ci aux possibilités d'expression dynamique d'un autre instrument à clavier : le clavicorde. Car le clavecin, avec son système de cordes pincées au moyen de becs de plumes de corbeaux fixés

dans des sautereaux actionnés par les touches ne permet pas le contrôle de la dynamique offert par le clavicorde, de façon approximative il est vrai, qui utilise, lui, des languettes métalliques fixées aux touches pour frapper les cordes. Cette question primordiale du contrôle des nuances - pouvoir jouer *piano* ou *forte* - fut résolue par Bartolomeo Cristofori, facteur de clavecin. Ce dernier, après plus de dix ans de recherches présenta en 1709 un instrument à clavier dont le système inédit de marteaux, d'étouffoirs et d'échappement permettait l'exécution de ces nuances impossibles auparavant : le piano forte était né. L'instrument de Cristofori ne s'imposa pas, bien sûr, du jour au lendemain. De fait, le clavecin reste très prisé pendant la majeure partie du XVIIIème siècle, les deux familles d'instruments coexistent et ce n'est qu'aux alentours de 1770 que le piano forte aura tendance à remplacer définitivement son concurrent. Question de facture : en plus d'un demi-siècle l'instrument a fait des progrès considérables, tout d'abord sous l'influence de Silbermann, facteur allemand qui, le premier, adapte et répand l'invention de Cristofori en commençant dès les années 30 à produire des pianos. Après la fermeture de la maison Silbermann pendant la guerre de Sept Ans (nous sommes au début des années 60), le flambeau est repris par deux de ses élèves ; Stein et Zumpe. Ce dernier en particulier rencontrera un franc succès en fabriquant un modèle de piano carré, de la dimension d'un clavicorde, modèle qui ne tardera pas à séduire un grand nombre de clavecinistes.

Question d'habitude aussi ; l'implantation progressive du piano se fait d'une génération à l'autre. Bach connaît le clavecin et le piano forte - encore qu'il n'apprécie guère les premières versions que lui présente Silbermann en 1736 - mais il ne compose pas pour cet

instrument. Idem pour Scarlatti, joueur de clavecin réputé qui n'écrit ses pièces pour clavier que pour celui-là. Les générations suivantes pratiquent les deux instruments. Haydn possède un piano et destine ses pièces à ce dernier ou au clavecin, quant à Mozart, il apprécie les piano forte de Stein, dont il vante le mécanisme d'échappement : "Ses instruments ont la supériorité particulière sur les autres d'avoir un échappement ; un facteur sur cent s'en préoccupe. Mais sans échappement, il est impossible d'éviter que la corde ne tinte et ne vibre après que la touche a été enfoncée."*

La charnière du XVIIIème et du XIXème siècle consacre la suprématie du piano forte, pour lequel se développe alors un répertoire spécifique (Clementi en est un bon exemple), en même temps qu'apparaissent des virtuoses de l'instrument qui, souvent, s'associent à des facteurs : Kalkbrenner et Pleyel, Clementi encore, qui fonde sa propre marque de piano, Clementi & Co. En la matière, le XVIIIème siècle apparaît donc comme une période d'expérimentation et de recherche. Les facteurs sont essentiellement des inventeurs, souvent très prolifiques, chacun proposant des améliorations aussi nombreuses que variées. D'un facteur à l'autre, les instruments diffèrent dans de grandes proportions et, comme on l'imagine, les méthodes de fabrication restent très largement artisanales.

Ce n'est qu'avec le XIXème siècle et la révolution industrielle que le piano entre dans une ère de grande diffusion et, par conséquent, de production massive. Si la première moitié du siècle est marquée par des progrès techniques décisifs - la facture évolue encore de manière significative - la deuxième moitié, dès 1850 mais surtout à partir de 1870 montre un essor économique sans précédent. En ce qui

concerne la facture française, il est difficile de ne pas évoquer Sébastien Erard, à qui le piano moderne est grandement redevable. Installé à son compte en 1781, il propose neuf ans plus tard un mécanisme original qui utilise un système inédit de "faux marteau", ce qui permet d'offrir un clavier beaucoup plus léger que les claviers anglais de la même époque. En 1809, c'est le brevet du mécanisme à répétition qui améliore la rapidité de réponse du clavier. Mais c'est à partir de 1820 qu'Erard mettra au point ce qui constitue une des bases du piano moderne, un système de répétition permettant de réattaquer la note à mi-course avant que la touche ne soit entièrement relevée. Prouesse rendue possible par une modification du levier intermédiaire qui permet au bâton d'échappement de revenir sous le rouleau avant le retour de la touche en position haute.

Bien entendu ces évolutions répondent à une demande de la part des musiciens, dont l'influence sur la facture est déterminante. En exauçant les souhaits de musiciens célèbres, le monde de la facture profite aussi de leur renommée : chaque pianiste possède son instrument de prédilection. Ainsi Chopin ou Liszt sont-ils indissociables de l'école française qui, en retour, trouvera chez eux des ambassadeurs de premier ordre. Parallèlement à cette exigence de rapidité du clavier, les facteurs n'auront de cesse de donner aux pianos un son plus puissant et une homogénéité plus grande. Les recherches porteront sur tous les aspects de l'instrument ; tension des cordes de plus en plus élevée, impliquant un renforcement du cadre, tout d'abord au moyen de parties métalliques rapportées, ensuite grâce à des cadres entièrement moulés ; technique apparue sur les pianos carrés (1825, Babcock) puis sur les modèles à queue (breveté par Chickering en 1843 et utilisé conjointement aux

cordes croisées à partir de 1859 par Steinway). Autre amélioration promise à un brillant avenir, le garnissage des marteaux par du feutre dur, en lieu et place des peaux utilisées jusqu'alors (Pape, 1826). Avantage du procédé : un gain très net en puissance et en précision d'attaque. Le même Pape inaugurerait en 1827 la disposition croisée des cordes, favorisant l'ampleur des graves (cordes plus longues) et le brillant des aigües. Quant à la tessiture des instruments, elle s'élargit de plus en plus. De cinq octaves sur les premiers piano forte (fa-1 / fa-5), le nombre de notes augmente progressivement jusqu'à six octaves vers 1810 (fa-1 / fa-6) pour arriver au milieu du siècle à sept octaves, du la-2 au la-6. La tessiture en usage actuellement sur les pianos à queue, sept octaves et une tierce mineure (la-1 / ut-7), se généralisera dans le dernier tiers du XIXème siècle.

Autre fait marquant, et d'une importance capitale pour la diffusion du piano, l'apparition dans le premier tiers du siècle (le premier modèle est de 1811) du piano droit qui, en quelques décennies, remplace définitivement le piano carré et assure le succès de la majorité des constructeurs européens, à commencer par Pleyel ou Gaveau. Le compromis est d'autant plus séduisant pour un grand nombre d'acheteurs que dès le milieu du siècle, les études se multiplient pour doter ces pianos droits d'un système à double échappement, de cadres métalliques et de cordes croisées. Dès lors, la facture de piano entre dans une phase d'industrialisation intensive et les chiffres de production entament une ascension vertigineuse. Le phénomène prend une ampleur considérable à partir de 1870 et concerne aussi bien l'industrie européenne (surtout française et allemande) qu'américaine. Le piano n'est plus un instrument exceptionnel, résultat d'un travail artisanal, mais bien un produit de série. Le

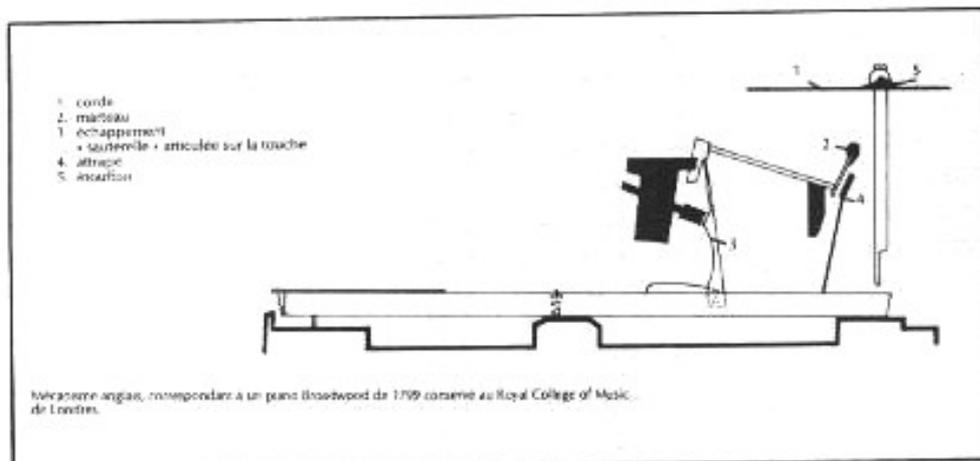


Fig. 1 : Mécanique de Cristofori.

ECLATE DE PIANO A QUEUE

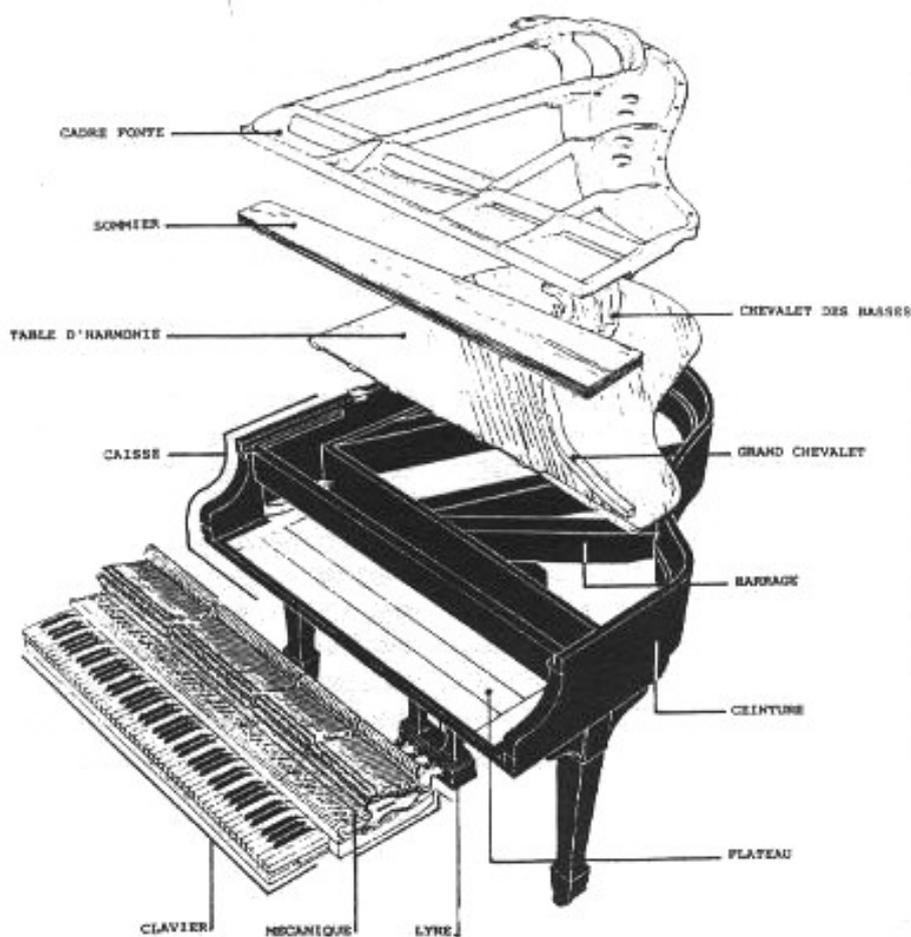


Fig. 2 : Eclaté.

dynamisme de l'industrie du piano à cette époque est sans précédent ; l'Allemagne par exemple compte en 1884 plus de 450 marques différentes. En 1910, la production mondiale de piano est dix fois supérieure à ce qu'elle était au milieu du siècle précédent : de 50 000 à 500 000 instruments. L'âge d'or ne durera pas, en tout cas pas pour tout le monde. Après la guerre des firmes telles que Bechtein ou Pleyel connaissent un ralentissement très net de leur croissance. La facture française ne cessera alors de décliner, pour finalement connaître le destin que l'on sait. De l'autre côté de l'Atlantique en revanche, Steinway établit sa réputation ; ses pianos, puissants et homogènes sont de plus en plus appréciés et, jusqu'en 1930, sa production augmente en conséquence. La crise économique puis, dix ans plus tard, la guerre, se chargent de faire retomber la production à des chiffres beaucoup plus modestes, tant en Europe qu'aux Etats-Unis. Ce sont finalement deux firmes japonaises, Yamaha et dans une moindre mesure Kawai qui, dès le début des années 60, donneront à la facture de pianos une vigueur économique nouvelle.

Facture et restauration

L'éclaté figure 2 permet de se faire une idée des différentes parties constituant un piano. La facture et l'état (dans le cas des instruments anciens) de chacun des éléments a une influence directe sur la sonorité. Nous allons suivre les particularités de construction et de restauration de ces éléments en respectant *grosso modo* leur ordre d'assemblage.

La caisse de l'instrument est composée d'une ceinture de bois dans laquelle sont implantées des poutres, ces renforts collés entre eux s'appellent le barrage et ont pour utilité de supporter le cadre en l'aidant à résister à la traction des cordes. Dans certains pianos droits

de facture récente, ce barrage est inexistant, le cadre se suffit à lui-même : il est dit autoporteur. On aperçoit ensuite la table d'harmonie qui, sous ce vocable sibyllin, répond à deux fonctions. Une fonction statique qui est de s'opposer à la poussée verticale que les cordes exercent sur les chevalets, l'autre, acoustique, qui est d'assurer la conversion de l'énergie mécanique émise par les cordes et transmise par les chevalets en énergie acoustique, ces deux fonctions étant on sans doute intimement liées. Simple en apparence, la fabrication de cette table est délicate : elle est l'indispensable porte-parole de l'instrument vers le monde extérieur.

L'essence de choix pour sa fabrication provient d'un résineux : l'épicéa. En lutherie, on parle alors d'épicéa de résonance. De tout temps, la sélection de bois de table a fait l'objet de soins jaloux de la part des facteurs d'instruments. Elle repose sur des critères macroscopiques et acoustiques :

- les cernes d'accroissement doivent être réguliers ;
 - le fil rectiligne ;
 - l'orientation des fibres doit être homogène ;
 - la masse peu élevée ;
- et surtout la qualité de la résonance à la frappe doit être bonne.

En provenance de diverses régions montagneuses, Jura, Dolomites ou Tyroll, l'épicéa doit être convenablement sélectionné car tous les arbres ne possèdent pas une structure identique. Certains spécimens, à cause de l'orientation de leurs fibres, ne conviennent pas aux luthiers. Il faut en effet savoir que, lors de sa croissance, l'arbre s'oriente dans un sens donné, il "tourne" en quelque sorte suivant son axe vertical, ce qui oriente ses fibres selon une forme plus ou moins hélicoïdale. Avec les années, il arrive que l'arbre change d'orientation ; il se tourne dans l'autre sens, ses fibres présentent alors une orientation non homogène du cœur

à la périphérie. Près du cœur elles sont orientées dans un sens, elles passent ensuite au stade vertical pour finalement présenter une orientation inverse dans les couches extérieures. Ces arbres sont déconseillés en facture instrumentale. Les spécialistes parlent de bois lévogyres, c'est-à-dire le premier type d'arbre, tourné vers la gauche, et de bois dextrogyre, à savoir le second type, qui a changé d'orientation pour se tourner vers la droite. Précisons enfin que le premier type est un bois qui suit la marche du soleil alors que le deuxième va dans le sens contraire.

Nous sommes aux antipodes du domaine de la reproduction où on recherche en général des matériaux d'une grande neutralité. Aussi pour illustrer ce propos, on peut observer fig. 3 les spectres de bruit (obtenus par analyse sonographique) de deux tables d'harmonie de guitare identiques en facture mais d'essences différentes : la table en épicéa présente un fondamental plus élevé que celle en western red cedar et un nombre de partiels beaucoup plus faible. Ce sont ces faibles différences que le facteur exploite lors du choix d'une essence.

Ce bois d'épicéa est fendu en quartiers d'où sont façonnées les planches composant la table d'harmonie. Ces planches, d'une épaisseur d'environ 1 cm, sont collées entre elles dans le sens du fil qui est parfois orienté dans la longueur des cordes. Des renforts collés par en dessous perpendiculairement au fil du bois forment un barrage dont le but est d'augmenter la rigidité transversale de la table. La masse apportée par ce barrage ne doit pas être trop élevée, ce qui implique un choix judicieux de la forme des barres de table (rapport hauteur-largeur). De même celles-ci sont effilées aux extrémités afin de ne pas figer exagérément la structure vibratoire de la table. Le petit et le grand chevalet sont généralement

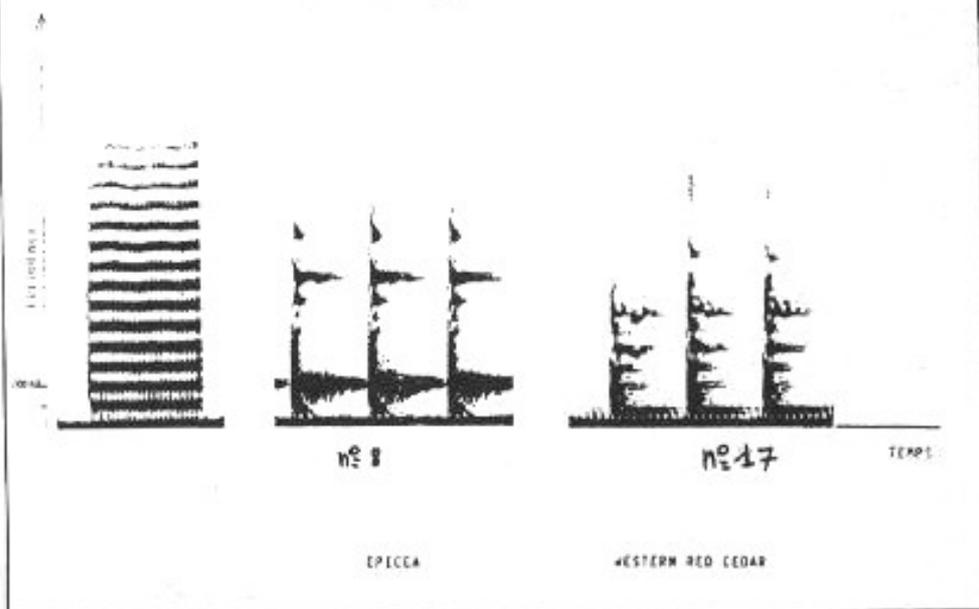


Fig. 3 : Sonogramme.

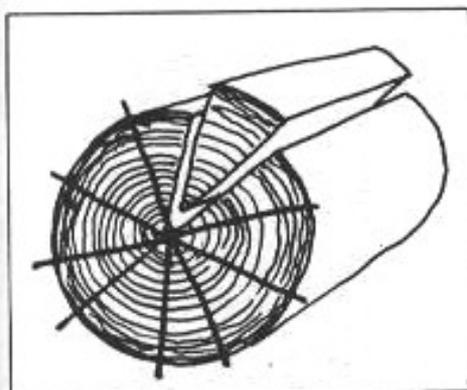


Fig. 4 : Débit sur quartier.

réalisés en hêtre et collés en place sur le dessus de la table d'harmonie. Le petit chevalet est parfois monté "flottant" sur une plaque intermédiaire également collée en place sur le dessus de la table, ce dispositif de chevalet des basses suspendu permet d'augmenter la longueur des cordes, répartit les efforts et améliore la qualité de transmission en rapprochant le point d'écoulement des vibrations du centre de la table d'harmonie. Il est en général admis que la rigidité transversale apportée par le barrage de table et les chevalets doit être sensiblement équivalente à la rigidité longitudinale du bois de table. Une rigidité trop forte dans le sens transversal compromet les capacités d'émission acoustiques de la table qui doit vibrer librement de

façon homogène. Cette table n'est pas plane : elle est légèrement bombée (1 à 2 mm) dans la zone des chevalets, ce qui lui permet de supporter sans se creuser la contrainte correspondant à la charge imposée par la tension des cordes (la poussée verticale au droit des chevalets est de 10 à 20 newtons par corde). Ce montage sous tension de la table d'harmonie est primordial ; la charge favorise l'écoulement de l'énergie provenant des cordes par les chevalets vers la table. Sur des pianos anciens, il arrive que la table soit déformée de manière permanente en réponse à la poussée des cordes. Un contrôle du réglage de la charge est toujours effectué après restauration d'une table d'harmonie. Ce réglage se fait avant montage des cordes, principalement par ajustement de la position du cadre par rapport à la table d'harmonie. On évalue localement la

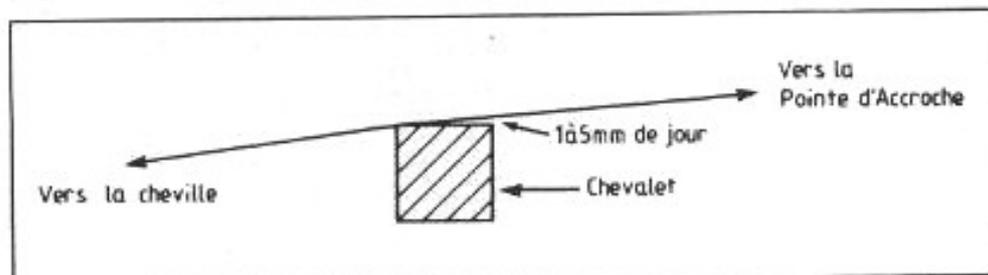


Fig. 5 : Schéma du contrôle de la charge.

charge en utilisant une cordelette que l'on tend manuellement en lieu et place d'une corde. On vérifie alors que la corde ainsi simulée porte à faux sur le chevalet : elle le touche à l'avant mais pas à l'arrière ou on mesure un espace de 1 à 5 mm selon l'emplacement de la corde et la charge souhaitée (voir croquis fig. 5).

Sur un instrument âgé, il est fréquent que la table d'harmonie soit fendue en plusieurs points dans le sens du fil du bois (photo 1). Ces fentes altèrent la structure mécano-acoustique de la table : sa tension n'est plus homogène et elle résonne moins bien. La restauration du tablage devient alors souhaitable ; cette opération courante pour le facteur-restaurateur implique d'élargir les fentes et de les calibrer : les outils utiles à ce travail sont visibles photo 7. Ceci permet d'insérer à force après encollage des baguettes en épicea de section appropriée qui agissent un peu comme des coins. Le but n'a ici rien d'esthétique mais est de rétablir la structure vibratoire de la table. Après prise de la colle, la partie en saillie de ces baguettes appelées flipots est arasée, la table est grattée puis poncée et reçoit un vernis.

Le sommier est placé dans un évidement de la fonte et fabriqué en cœur de hêtre refendu ou, sur beaucoup d'instruments récents, en multiplis compressé. C'est le point d'implantation des chevilles. Il est percé de trous borgnes suivant un plan précis, les chevilles en acier bleui ou nickelé sont usinées de fins filets orientés leur permettant de tenir en place (on les monte en les frappant) et facilitant leur recul

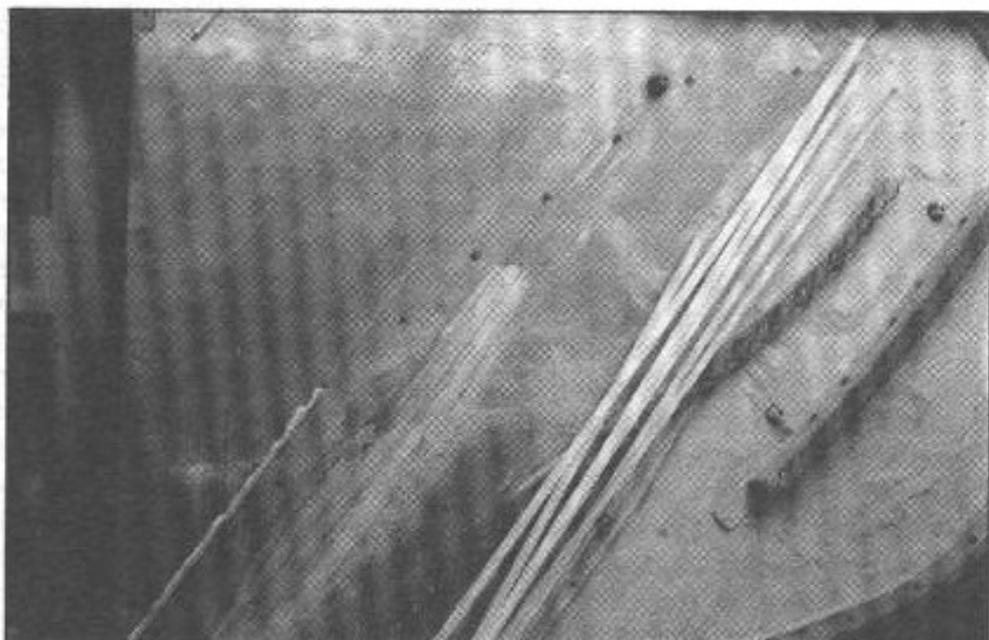


Photo 1

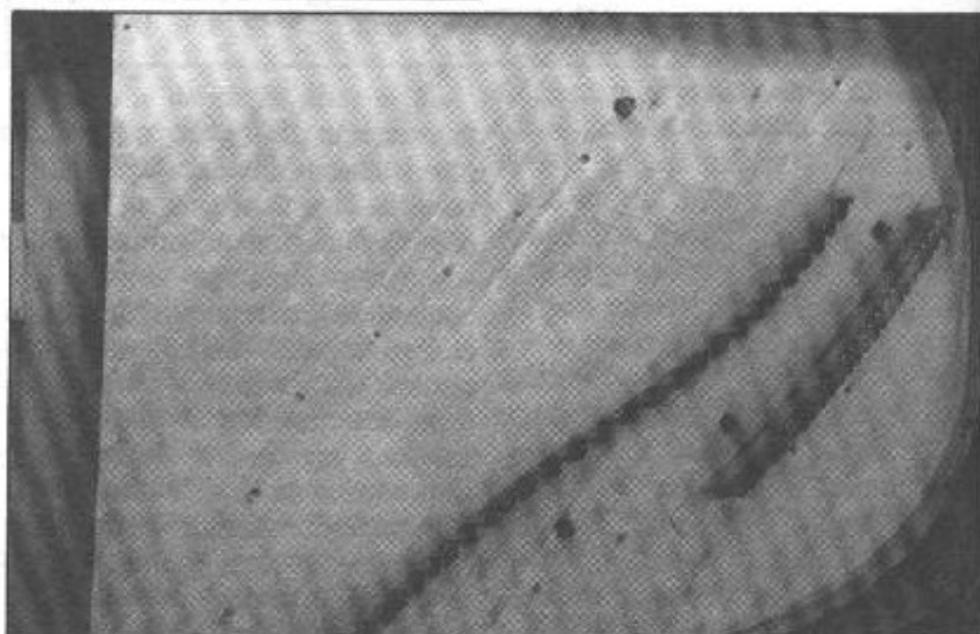


Photo 2

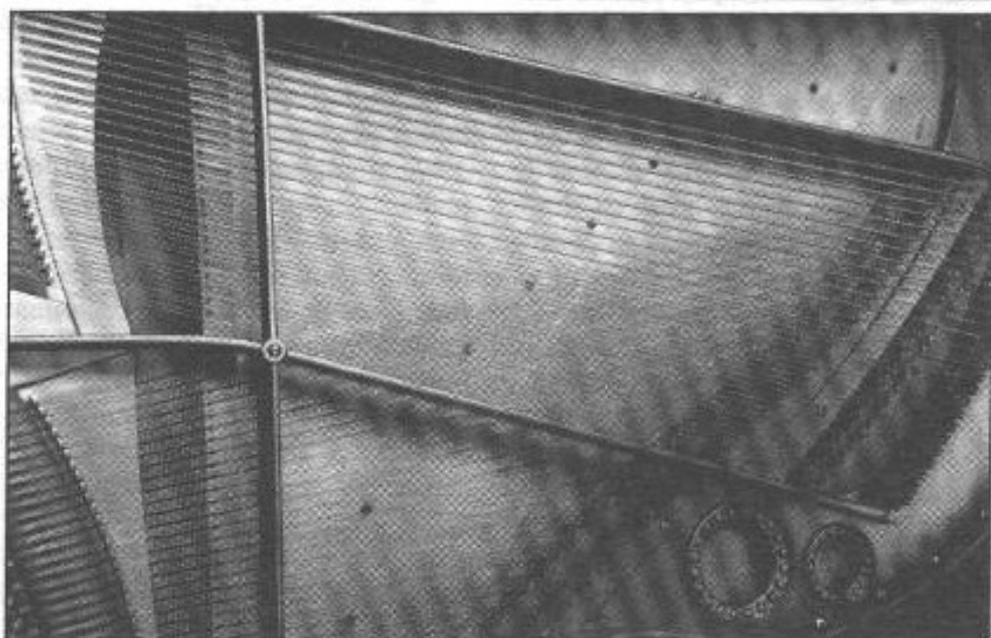
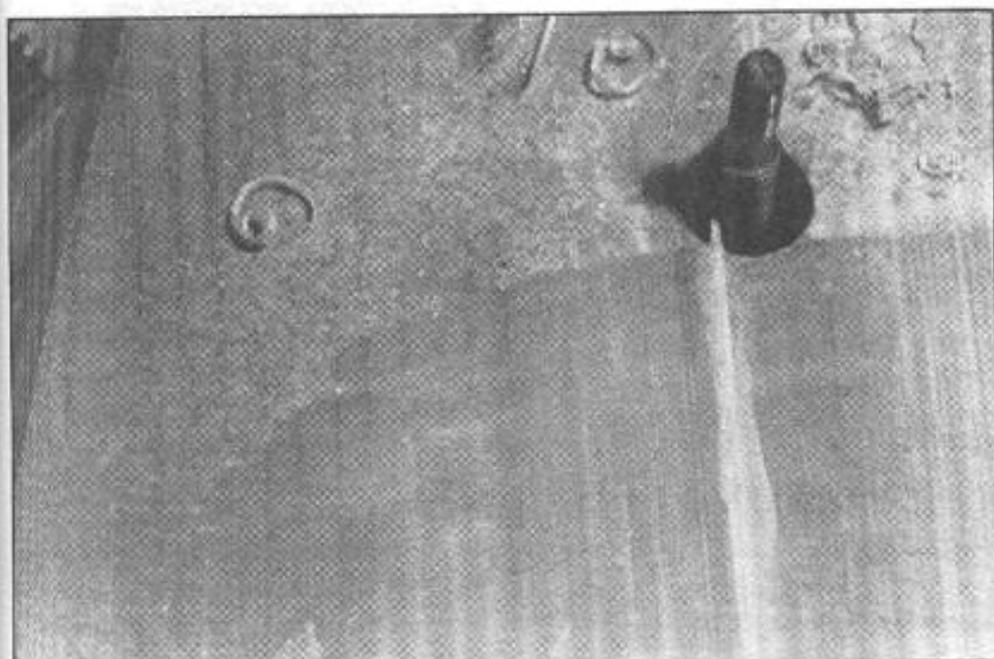
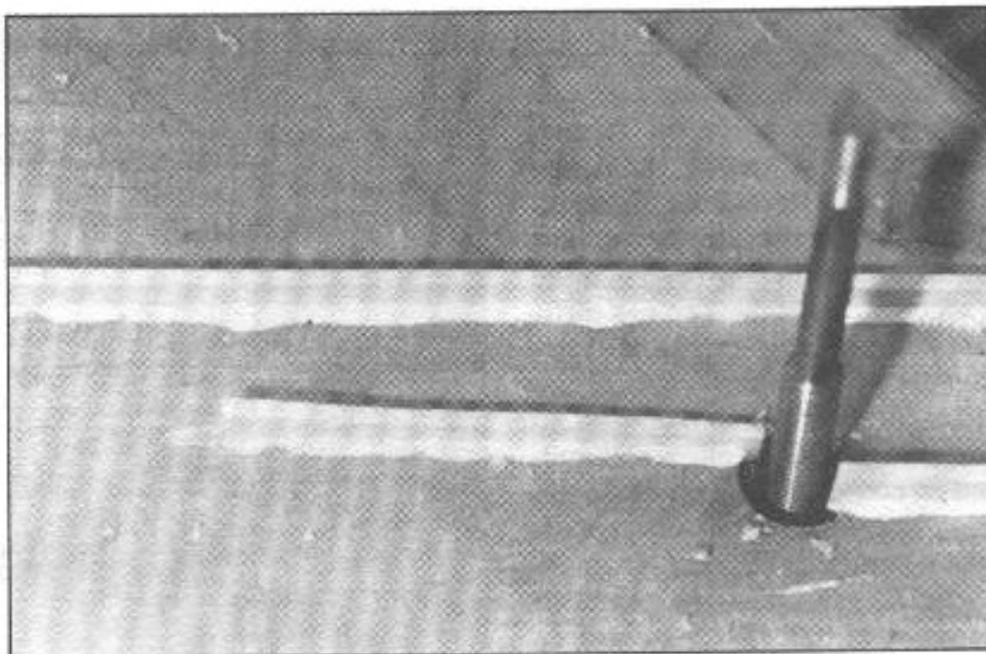


Photo 3

Photos 1, 2, 3 : Tablage de restauration Beschtein. DENIS SALMON

*Photo 4 :
Pose des flipots.*

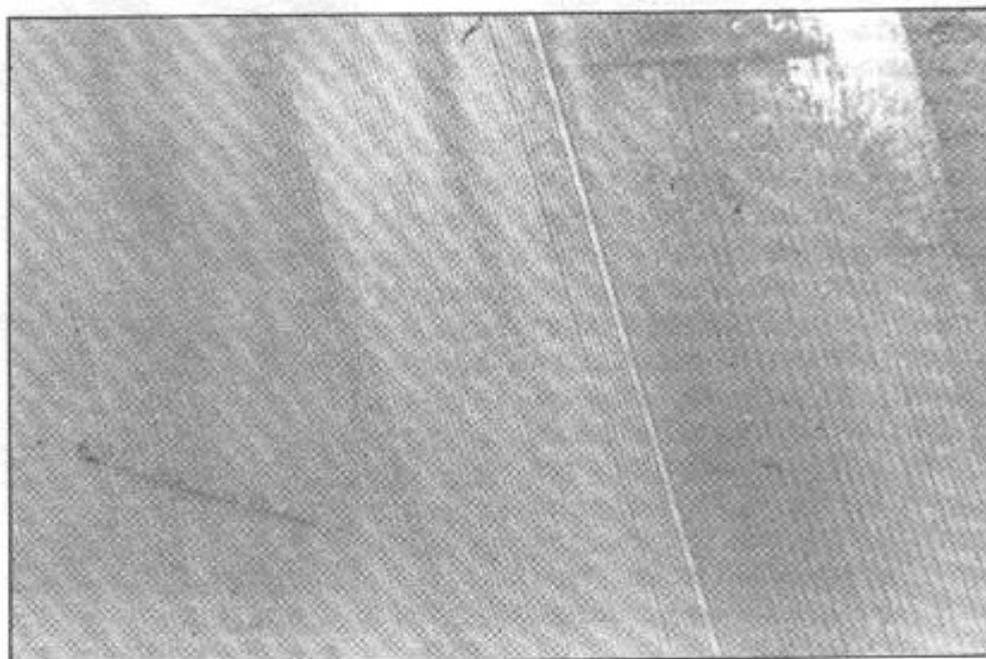


*Photo 5 :
Affleurage des flipots.*

*Photo 6 :
Grattage et ponçage de la table.*

Macrophotos de flipotage.

DENIS SALMON



pour changer une corde ou décheviller. Ce système utilise les forces de frottements, importantes dans ce cas puisque la corde est tendue, pour "tenir" l'accord. Les problèmes surviennent lors d'une fatigue trop prononcée du support liée au travail du bois et au nombre d'accords ; il est dans ce cas difficile de caler les chevilles et l'instrument ne tient plus l'accord. La restauration se fait en reperçant au diamètre supérieur et en rechevillant en conséquence. Des détériorations trop importantes du support sont possibles, obligeant le restaurateur à fabriquer un nouveau sommier en relevant les cotes de l'ancien.

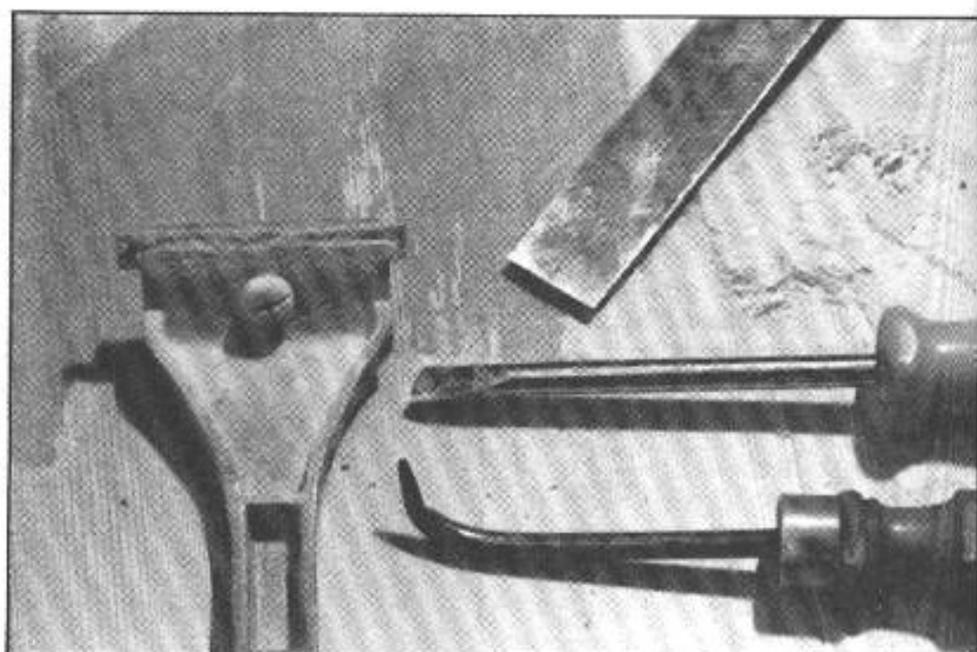


Photo 7 : Outils pour flipotage.

Le cadre est en fonte d'acier coulé d'une seule pièce et supporte la tension des cordes qui avoisine 20 tonnes pour un grand piano à queue. En cas de rupture de la fonte, l'instrument est considéré comme perdu.

Les cordes de piano sont obtenues par tréfilage et recuisson d'acier dur au carbone (Pleyel fut un précurseur dans ce domaine). Une corde réelle présente toujours une certaine inharmonicité liée à sa raideur, qui est fonction du diamètre de la corde, de sa longueur et de sa tension. Dans la pratique, les facteurs ont contourné ce problème en ayant recours à de nombreux compromis. La puissance des instruments actuels impose des tensions de corde élevées (de 60 à 80 kg) assez proches de la charge de rupture, ceci afin que la corde "sonne". D'autre part une tension importante réduit l'inharmonicité. On distingue deux catégories de cordes : les cordes claires et les cordes filées. La première catégorie, destinée aux aigus est simplement constituée d'une âme d'acier. On en dénombre trois par notes accordées à l'unisson. La deuxième catégorie destinée aux graves comporte en plus de l'âme d'acier un fil de cuivre enroulé sur une ou deux couches : le filage. Ce

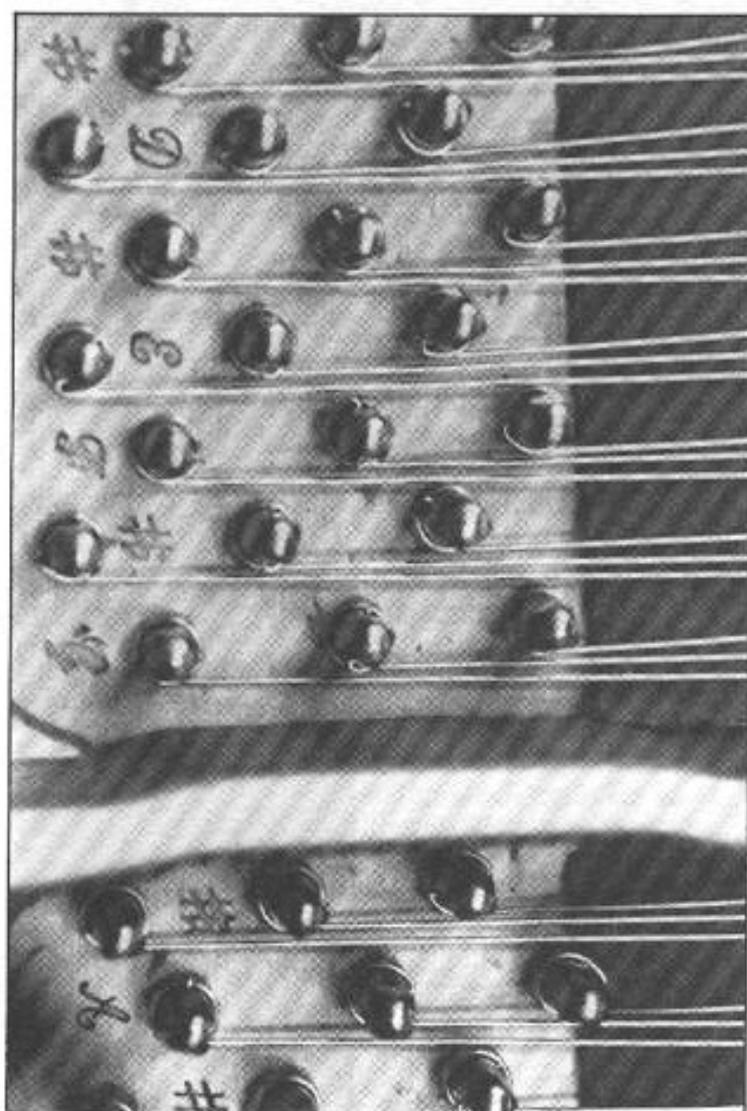
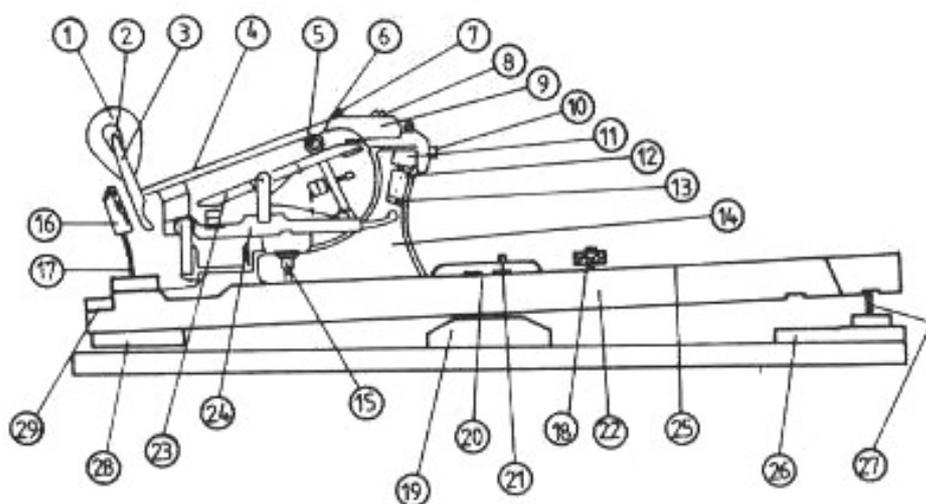


Photo 8 : Rechevillage neuf 1/4 de queue Klein de Manu Dibango.

procédé permet d'augmenter la masse des cordes sans accroître leur raideur, ce qui permet un meilleur couplage avec la table d'harmonie et minimise l'inharmonicité. Dans les notes les plus graves, une seule corde est utilisée par note. L'usage de doublet ou de triplet de cordes, qu'elles soient claires ou filées répond au même besoin.

La mécanique d'action d'un piano à queue (voir fig. 6) utilise un système de leviers articulés entre eux dont la cinématique pour le moins ingénieuse permet au pianiste de propulser les marteaux vers les cordes. Au fil des ans, le but de ses évolutions successives a été d'aboutir à la mécanique actuelle qui procure une grande plage dynamique et une vitesse de répétition non limitative. A l'enfoncement de la touche, le pilote mène le chevalet en rotation : ce qui oblige le bâton d'échappement à pousser le rouleau vers le haut. Ainsi le manche de marteau soulève le marteau vers les cordes. A mi-course de la touche, l'étouffoir commence à se soulever. Si l'on continue d'enfoncer la touche, le levier supérieur du chevalet parvient en butée sur la vis de chute ainsi que l'extrémité de l'équerre du bâton d'échappement qui se bloque sur le bouton d'échappement. Le chevalet est donc en butée sur ces deux points, ce qui implique que la poursuite du mouvement de descente de la touche force le bâton d'échappement à pivoter sur son axe à un point tel qu'il passe derrière le rouleau : c'est l'échappement. Le manche de marteau en rotation amène le marteau à heurter la corde puis à rebondir renvoyé par la corde. La touche est en fin de course. Dans sa descente, le manche de marteau pousse le levier de répétition par l'intermédiaire du rouleau comprimant un ressort, l'attrape retient alors la tête du marteau évitant un rebond supplémentaire. si on laisse la touche remonter légèrement

MECANIQUE PIANO A QUEUE



- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1 Feutre de marteau | 15 Pilote |
| 2 Sous garniture | 16 Attrape |
| 3 Tête de marteau | 17 Tige d'attrape |
| 4 Manche de marteau | 18 Barre de touche |
| 5 Languette de rouleau | 19 Châssis barre de balancier |
| 6 Rouleau | 20 Capsule |
| 7 Vis réglage rechute | 21 Pointe de balancier |
| 8 Vis d'olive | 22 Touche |
| 9 Olive | 23 Levier de répétition |
| 10 Vis de sommier | 24 Chevalet |
| 11 Barre de bouton d'échappement | 25 Revêtement plastique |
| 12 Bouton d'échappement | 26 Châssis barre d'enfoncement |
| 13 Feutre de bouton d'échappement | 27 Pointe d'enfoncement |
| 14 Support de mécanique | |

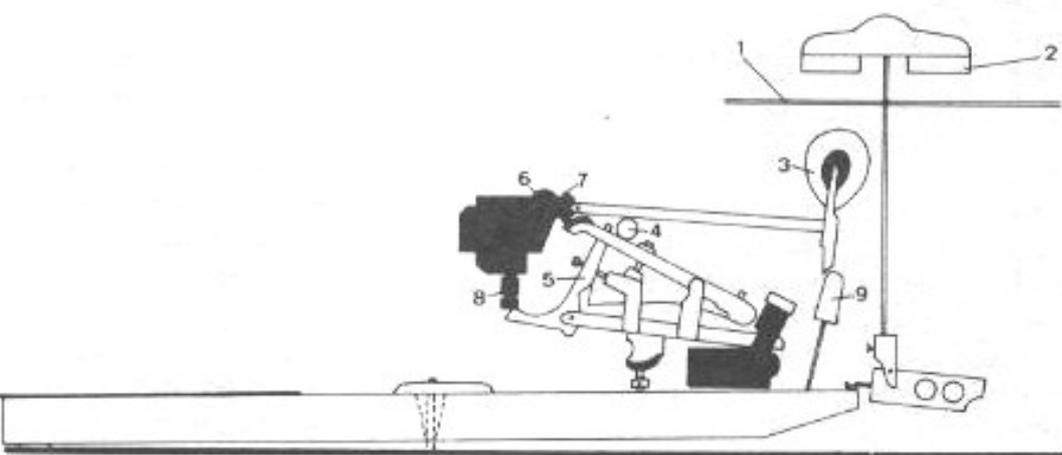
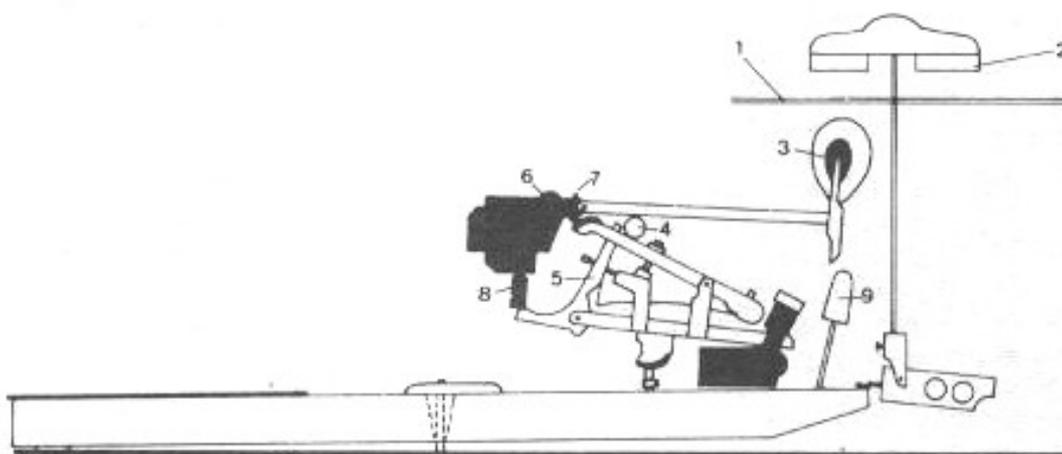
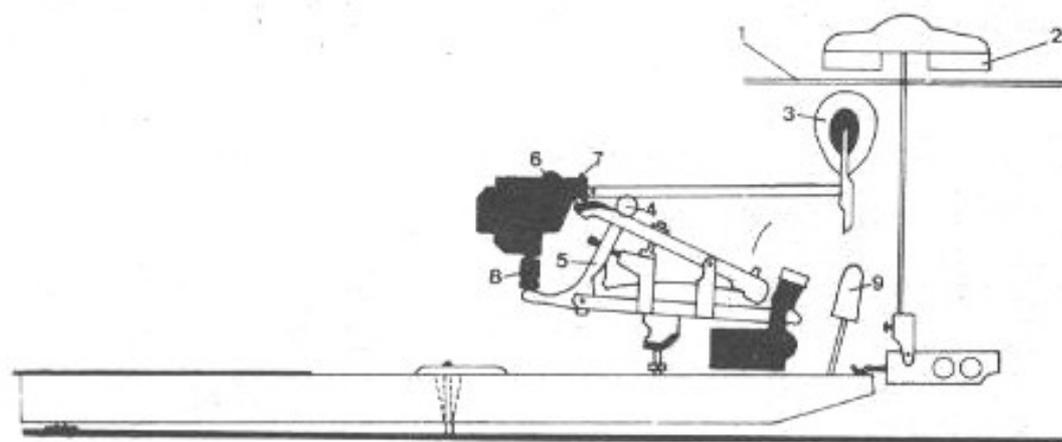
Fig. 6 : Schéma mécanique.

(3/5), l'attrape libère la tête du marteau, ce qui permet la détente du ressort : le levier de répétition pousse vers le haut le manche de marteau jusqu'à autoriser la remise en place du bâton d'échappement sous le rouleau tandis que l'extrémité de l'équerre du bâton d'échappement s'écarte du bouton d'échappement. Un nouveau cycle est alors possible sans que la touche ait repris sa position de repos : c'est la répétition.

Les nombreuses pièces qui composent la mécanique et le clavier

sont réalisées dans des essences très stables d'un point de vue dimensionnel (tilleul ou charme par exemple). Des garnitures en feutre ou en peau et le graphitage de certaines parties assurent un fonctionnement doux et silencieux. La pression d'appui sur une touche pour échapper est une donnée propre à chaque mécanique. Des masselotes en plomb sont utilisées pour équilibrer les différents bras de levier et assurer la régularité de l'enfoncement.

Lors de la restauration d'un ins-



1. corde
2. étouffoir
3. marteau
4. rouleau
5. bâton d'échappement
6. levier supérieur de chevalet
7. vis de chute
8. bouton d'échappement
9. attrape

Fig. 7 : Schéma mécanique en mouvement.

trument ancien, la qualité de réfection de la mécanique conditionne en fait les possibilités pour le pianiste de s'exprimer à travers l'instrument. Si cette mécanique n'est pas à même de transmettre avec fidélité toutes les nuances du jeu pianistique., l'instrument ne sera pas apprécié à sa juste valeur. La réfection d'une mécanique représente une somme de travail considérable, ce qui s'explique au vu du nombre de pièces en mouvement. Le facteur restaurateur doit, après démontage, changer tous les feutres détériorés, il en est de même pour les garnitures et lanières en peaux dont certaines ne se trouvent plus (peaux d'élan par exemple sur les pianos Erard). Les nombreux axes et pivots sont remis en état et, si certaines pièces sont rompues ou manquantes, elles sont reconstruites (voir photo 14 ; réparation de marteaux Erard par des joues). Les réglages sont d'importance et effectués en deux temps : d'abord sur l'établi et après, sur l'instrument.

Toutes ces opérations demandent du temps, de l'expérience et un soin constant ; le la touche au marteau et, pour chaque note, tout doit être parfait. La forme des marteaux, leur masse, ainsi que la compliance du feutre qui les garnit ont beaucoup d'influence sur le timbre de l'instrument. Ce feutre est collé sous pression aux têtes des marteaux, ce qui crée une tension de surface élevée ; la fig. 8 donne les spectres de la même note joué sur un piano à queue pour trois marteaux de duretés différentes.

Le feutre des marteaux est parfois trop dur, aussi le facteur-restaurateur travaille leur forme par ponçage et leur donne une texture appropriée en les assouplissant par piquage. Cette opération ; l'harmonisation requiert une grande expérience. La profondeur du piquage et le choix des zones à assouplir(voir figure 9) dépendant des marteaux, de la sonorité voulue et de l'instrument. Quand elle est bien me-

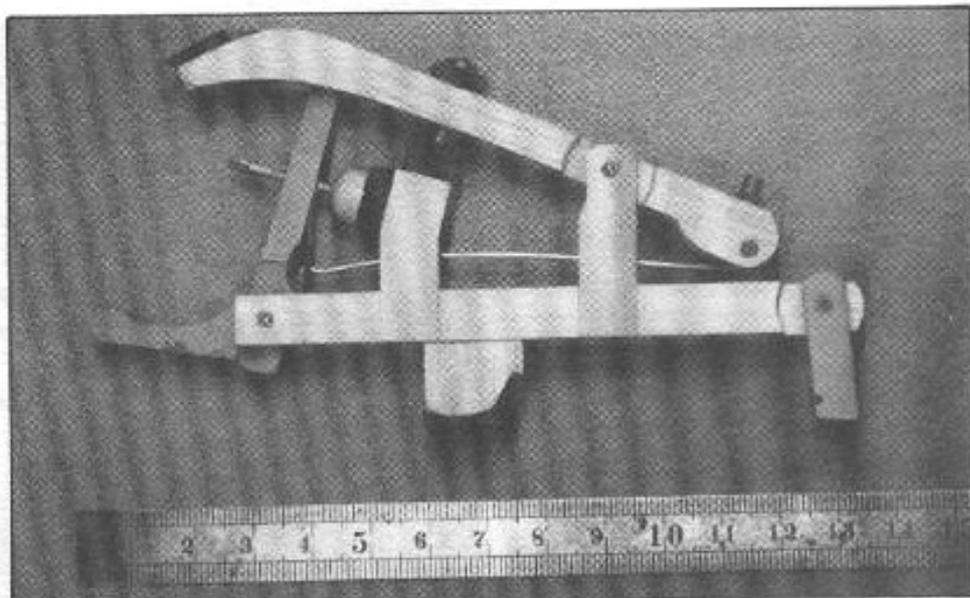


Photo 9 : Chevalet Pleyel 3 Bis 1912.

DENIS SALMON

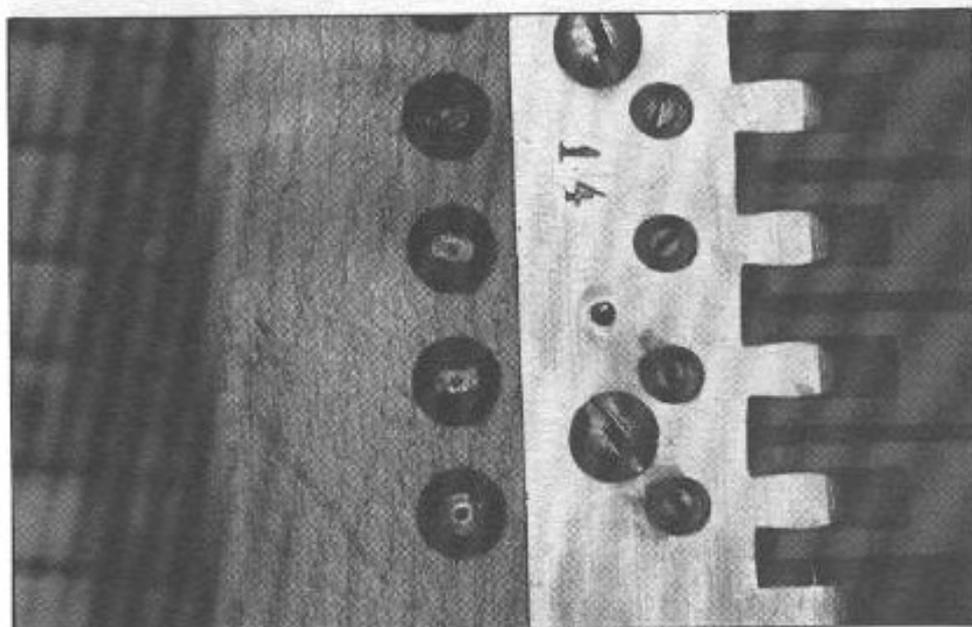


Photo 10 : Axe sur peigne Pleyel 3 Bis 1912.

DENIS SALMON

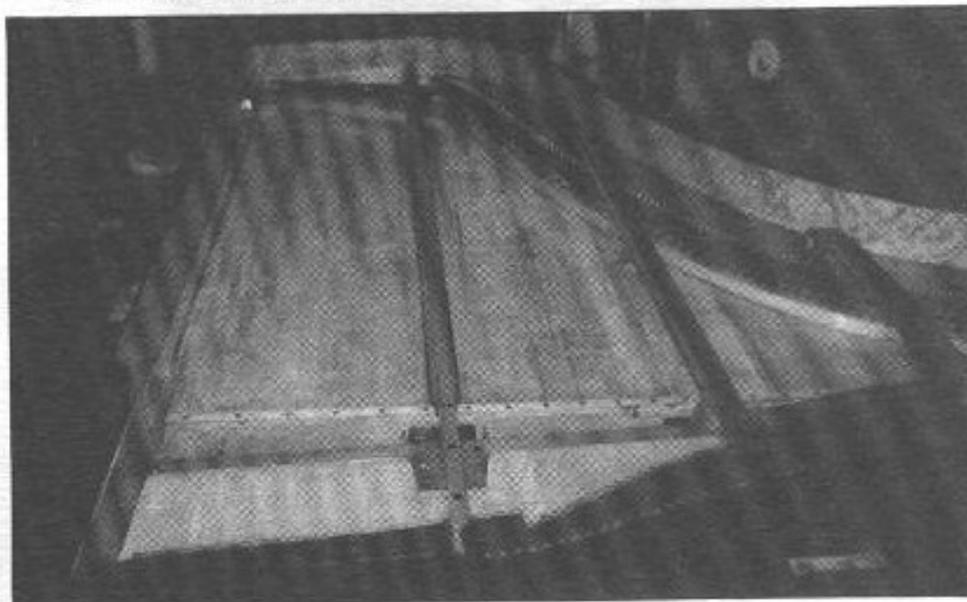
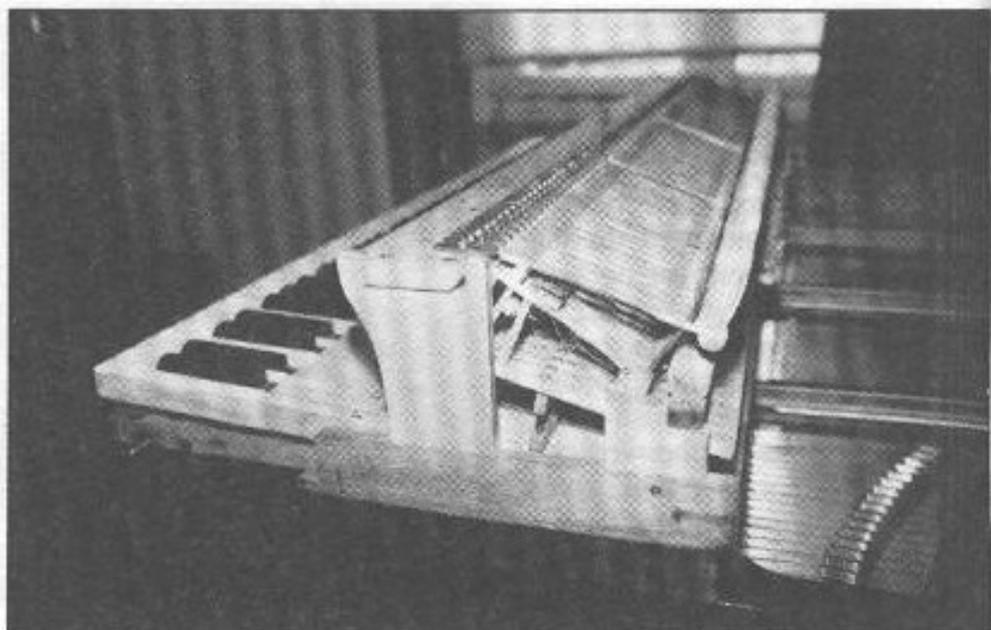


Photo 11

Photo 12



MAXIME ET FLORIAN LOUINEAU

Photo 13

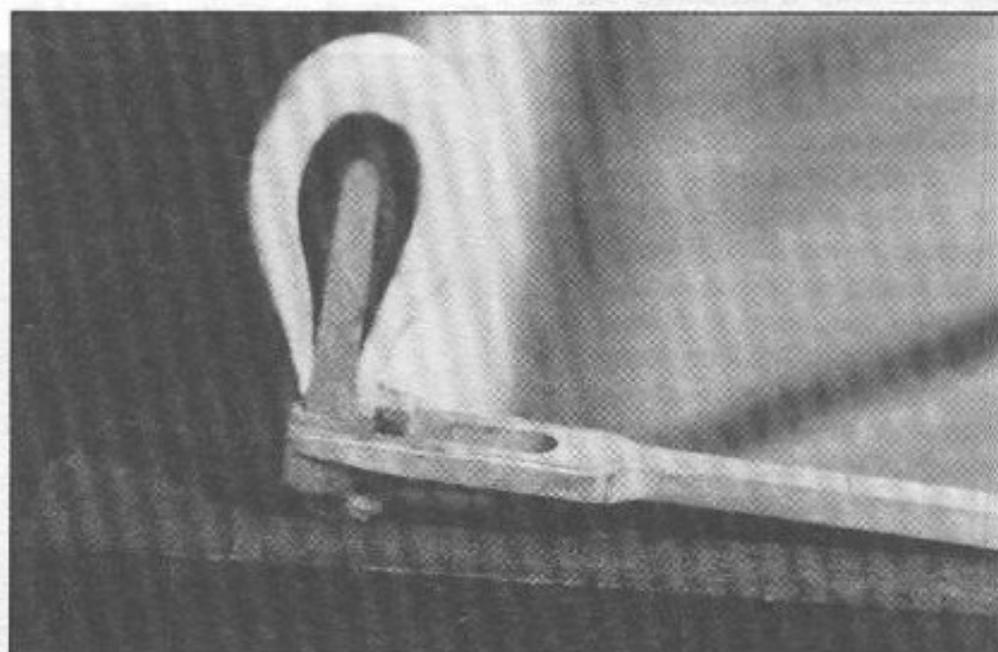


Photo 14 : Marteaux Erard, réparation par des joues. DENIS SALMON

née, cette opération permet d'obtenir des couleurs homogènes sur toute la gamme même dans les *forte*. Dans la "vie" d'un piano, l'harmonisation permet de conserver un instrument égal en corrigeant les différences d'usure entre les marteaux (la zone centrale du clavier est la plus sollicitée), mais aussi en procédant à certaines "retouches" plus subtiles, telles que l'affinage des manches de certains marteaux (voir photo 15). Les quelque 5.000 pièces qui font la mécanique d'un piano neuf ou restauré forment un ensemble délicat et sensible qui requiert tout au long de son utilisation un suivi pour conserver ses qualités.

L'Art et la Manière

A bien considérer la complexité et le haut degré d'industrialisation qui caractérisent le piano, on imagine la multitude de compétences dont doit faire preuve l'artisan restaurateur : ses domaines d'intervention concernent quasiment toutes les parties du piano et, là où une usine dispose de nombreux spécialistes, l'artisan doit, lui, assumer seul toutes les étapes du travail. En outre, les connaissances théoriques requises ne suffisent pas, une *pratique* est indispensable, qu'il faut acquérir au fil des années. C'est pourquoi il n'eût pas été possible de parler de facture et de restauration sans tenir compte de cet aspect crucial des choses. Aussi avons-nous rencontré un artisan, M. Denis Salmon (piano Hista) qui a bien voulu nous parler de son métier, qu'il pratique avec autant de passion que de talent.

Commençons, si vous le voulez bien, par la partie la plus visible d'un piano : son clavier. Que faites-vous quand celui-ci est jauni ou abîmé, et vous reste-t-il des ivoires ?

"Il m'en reste quelques-uns dans mon stock. Sinon évidemment, je récupère. Parfois j'achète un piano avec la moitié des ivoires cassés, je ne vais donc pas remettre tout ce

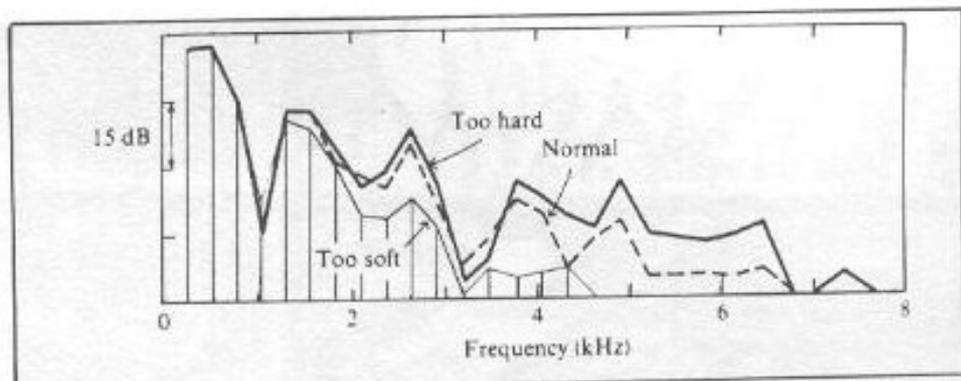


Fig. 8 : Courbe de réponse obtenues avec trois marteaux de dureté différente.

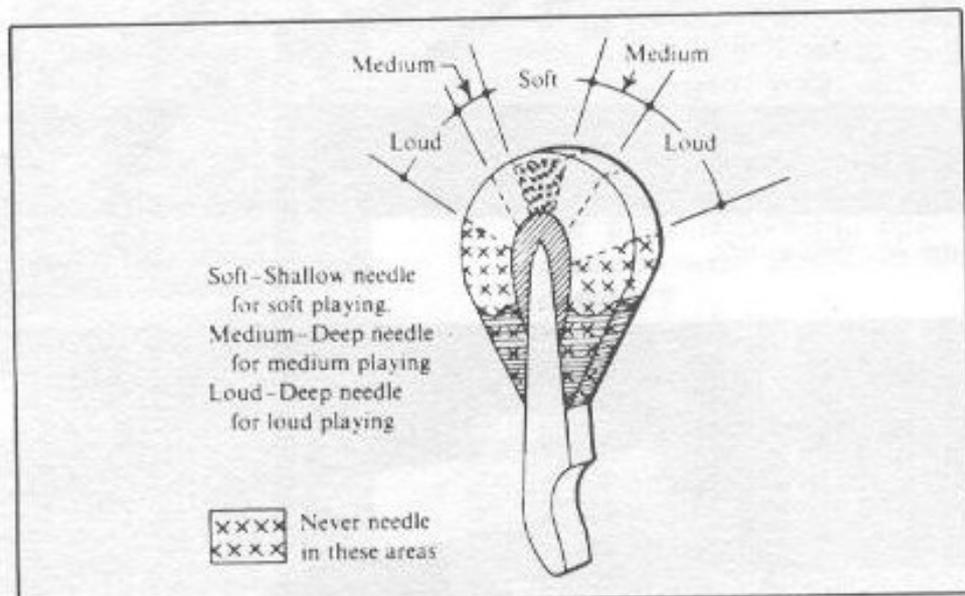


Fig. 9 : Schéma zones de piquage. Harmonisation.

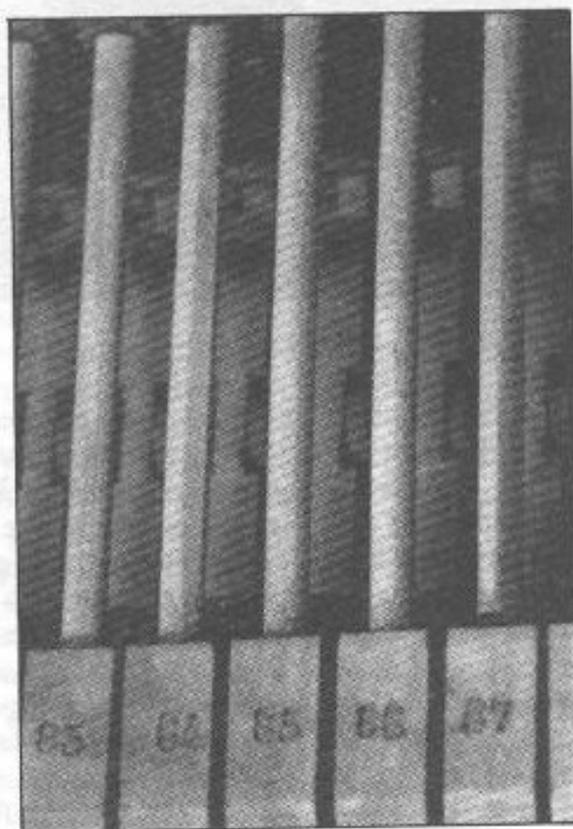


Photo 15 : Manches de marteaux affinés Pleyel 3 Bis 1912.

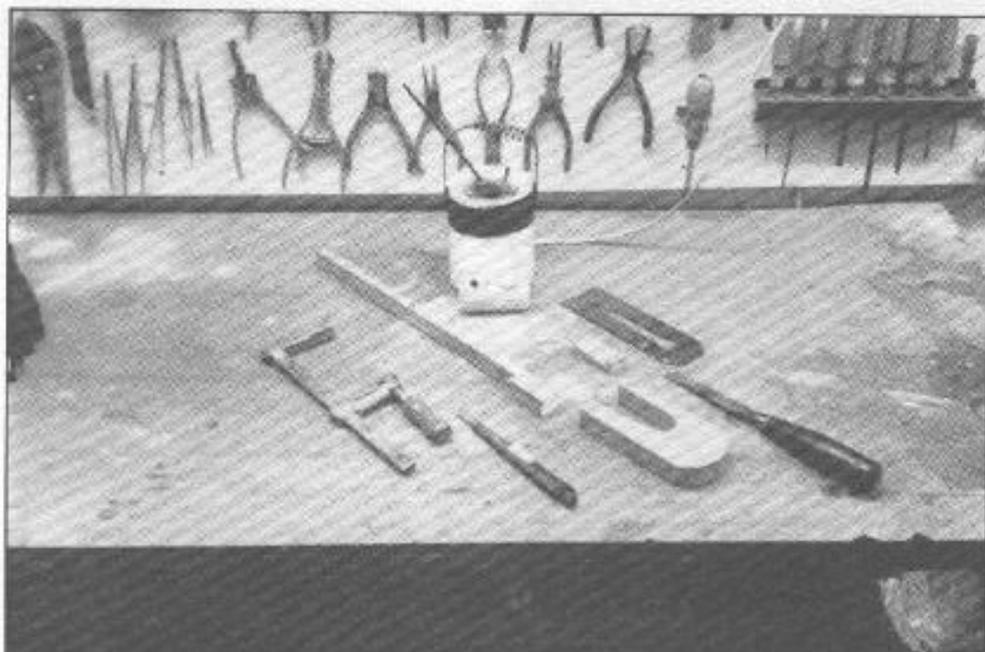


Photo 16 : Préparatifs.

DENIS SALMON

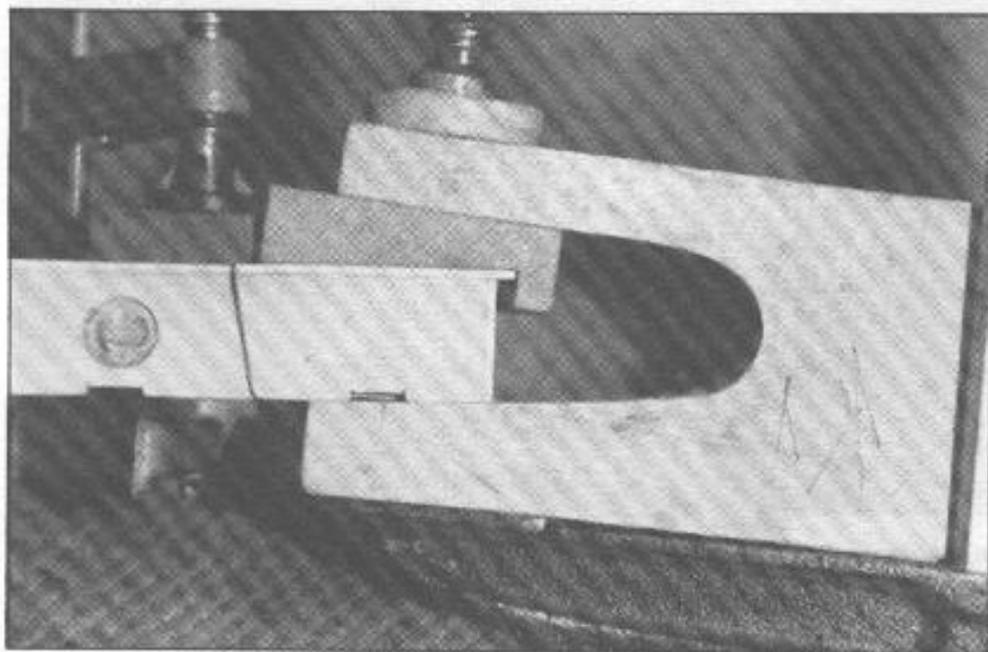


Photo 17 : Recollage de l'ivoire sur la tête.

DENIS SALMON

qui me reste de mon stock; Je vais déplaquer, mettre cela de côté et replaquer plastique. Pour blanchir les claviers, on utilise un procédé fort simple : on a une rampe avec deux tubes ultraviolets, on pose le clavier dessous et on passe de l'eau oxygénée."

Le blanchiment est-il immédiat ?

"Non, non, cela prend tout de même 24 heures."

Cela supprime-t-il les taches ?

"Pas toutes, non. En fait, le pro-

céder est plus complexe, on est systématiquement amené à poncer légèrement après blanchiment à l'eau oxygénée, mais cette opération de blanchiment ne doit pas durer trop longtemps car cela attaque les veines tendres et il ne faut pas aller trop loin. Comme toute matière veinée, l'ivoire n'a pas une dureté très homogène, il faut donc être prudent. Cela dit, même si on arrive souvent à obtenir après réfection un très bel aspect de l'ivoire (blanc et homogène), il

arrive que certains clients adoptent une attitude inverse : ils veulent de l'ivoire mais ils le veulent jaune, plus ou moins marqué par le temps. Pourquoi pas ? Et l'ivoire jauni quand on le laisse dans le noir. Exposé au soleil, il s'éclaircit. Il m'est arrivé de blanchir des claviers de cette façon quand je n'avais pas de rampe à ultraviolets."

Quelles opérations effectuez-vous sur les tables d'harmonie fendues ?

"On utilise la technique du flipotage. Après ouverture de la fente avec un outil adéquat, on insère dedans une fine lamelle de bois - un flipot - qui est collé et ensuite affleuré au ciseau. Cela permet de remettre la table d'harmonie en tension. Une fois le flipot affleuré, on gratte la table avec un racloir afin d'obtenir un aspect uniforme."

Ces opérations terminées, vous vernissez la table...

"Oui. Il y a plusieurs types de vernis. Ce qu'on appelle le vernis de table est un vernis fait avec une résine diluée. Les tables étaient ainsi vernies autrefois et on constate qu'elles ont souvent, avec l'âge, pris un aspect craquelé, faïencé, dû au rétreint du vernis. En ce qui me concerne, j'utilise maintenant un vernis polyuréthane à un composant. L'avantage, c'est qu'on peut en mettre une fine couche et obtenir quand on le veut un vernis qui ne craquelle pas, le polyuréthane gardant toujours une certaine souplesse."

Y a-t-il une incidence sur le son et, par conséquent, une différence de qualité sonore entre des vernis différents ?

"Peut-être certains le pensent-ils. Le problème, c'est qu'il est impossible de faire la comparaison de manière valable, en tout cas personne à ma connaissance ne s'est amusé à juger, sur un même instrument, des qualités respectives du vernis de table et du vernis polyuréthane. Il faudrait pour cela garder la mémoire auditive de l'un,

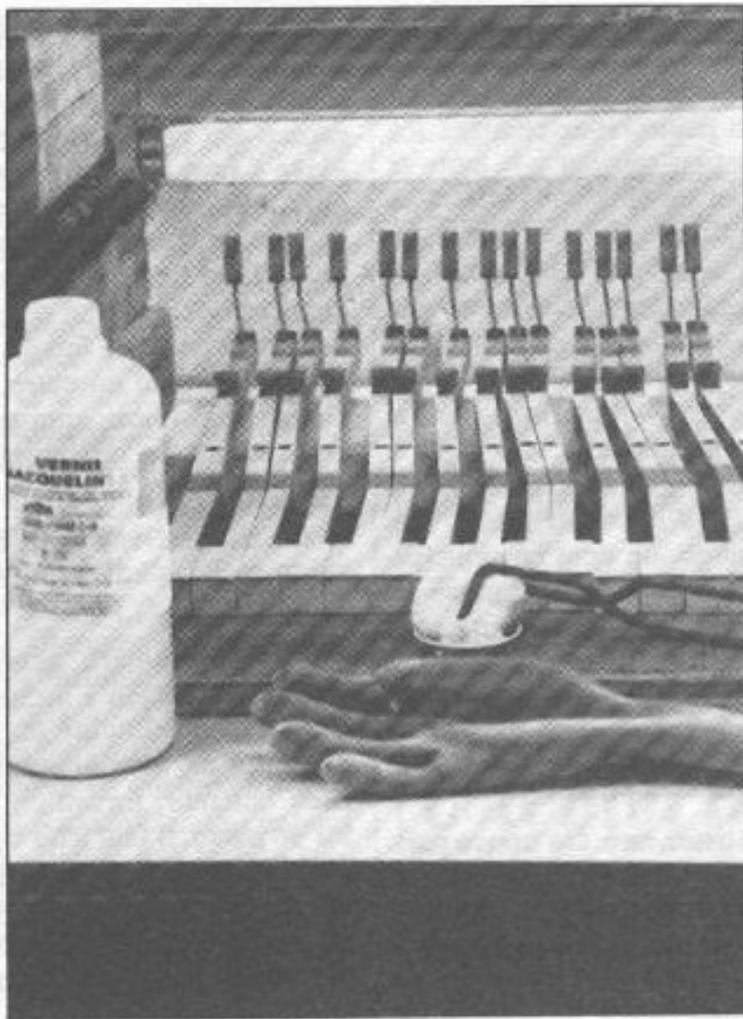


Photo 18 : Blanchiment sous U.V. + H_2O_2

DENIS SALMON

démonter l'instrument, revernir la table avec l'autre et juger du résultat. Mais, même dans ce cas, vous vous rendez bien compte que la comparaison serait faussée : ce type de jugement est toujours subjectif. Au fond, je ne pense pas qu'il existe une différence significative. Même en frappant la table avec le doigt, ce qui est un bon moyen de juger sa résonance, rien de flagrant n'apparaît à ce propos. Certains disent aussi qu'une table devrait pouvoir respirer : il ne faudrait donc pas la vernir des deux côtés. Pourtant, le fait est que les tables le sont, dans la majorité des cas.

En ce qui concerne l'extérieur, en fait la restauration du meuble, quelle méthode utilisez-vous pour vernir ?

"Je travaille au tampon avec un vernis à l'alcool, mais pas forcé-

ment pour les raisons qu'on imagine. Il faut être honnête et avouer qu'il est possible d'obtenir des résultats très satisfaisants au pistolet. Seulement, cela demande une infrastructure lourde qui ne se justifie pas forcément dans le cas d'un travail de dimension artisanale ; une cabine avec ventilation, filtre, rideau d'eau représente un investissement élevé et, par ailleurs, prend beaucoup de place. L'avantage des vernis polyester à deux composants appliqués au pistolet, c'est qu'ils peuvent être passés en couches assez épaisses, tandis qu'au tampon le travail se fait forcément en couches très fines. Sur des placages anciens, à la planéité parfois aléatoire, on arrive alors à un résultat qui est bon, mais qui n'est pas l'aspect du neuf alors que le vernis pistolet permet de compenser ces différences de niveau. Il faut savoir

si le charme d'un piano ancien tient à son âge et si l'on veut que cet âge, malgré la restauration, se devine. Par ailleurs, le vernis au tampon a tendance à mettre en valeur les placages anciens, qui sont souvent très beaux. Il faut dire aussi qu'il existe des incompatibilités : on ne peut pas revernir au polyuréthane un piano vernis au tampon, ou alors il faut appliquer auparavant une couche d'isolant pour éviter les problèmes d'incompatibilité dus à l'huile de vaseline utilisée pour faire glisser le tampon."

Revenons à un aspect plus technique si vous le voulez bien, et parlons un peu du sommier, une pièce importante dans un piano ; vous arrive-t-il d'en changer ?

"Cela nous arrive, en moyenne une à deux fois par an, quand l'état le justifie et quand le sommier, bien sûr, est démontable."

Ce n'est pas toujours le cas ?

"Non. Le queue Erard que vous voyez ici par exemple possède un sommier très difficilement démontable. Peu de gens s'y risquent, en tout cas pas moi... Quand la chose est possible, il faut démonter la pièce, prendre les cotes et recouper une nouvelle pièce, pour l'ajuster ensuite dans la fonte de l'instrument. Il faut évidemment relever de manière très précise l'implantation de cheville, ce que nous faisons en calquant directement sur le sommier, avec un papier kraft et un crayon. Au passage, on utilise pour les chevalets la même technique d'empreinte. L'ajustage du sommier dans la fonte du piano doit se faire avec soin ; le sommier doit être le plus stable possible ; il faut qu'il s'enclenche bien, sans trop de jeu. On remet ensuite la fonte dans le piano et c'est là qu'on voit si elle porte bien, si on peut donner de la charge. En fait, l'ajustement final du sommier se fait à très peu de choses près : quelques passes de rabot, un léger ponçage. L'étape suivante consiste à repointer les trous à l'aide du gabarit afin de

pouvoir percer le sommier.”

Comment évalue-t-on l'état d'un sommier ? Y a-t-il des risques d'erreur ?

“Pas réellement, non. C'est une question d'habitude, on sent vite en tournant une cheville si elle est dure ou non, ce qui donne une indication fiable de l'état du sommier. On pourrait utiliser une clé dynamométrique mais ce n'est pas indispensable. D'autre part, tous les sommiers ne sont pas identiques. Les sommiers modernes sont en multiplis compressés, sauf chez quelques maisons comme Bechtein ou Steinway où ils sont réalisés de manière plus traditionnelle, en cœur de hêtre à trois ou cinq plis. Il faut avouer néanmoins que le multiplis donne de bons résultats. En ce qui concerne la tenue de l'accord et la dureté de chevilles, chaque piano est un cas particulier. Certains ont des chevilles très dures et ne tiennent pas forcément l'accord. D'autres présentent le cas inverse. Le Erard que vous voyez n'avait pas les chevilles très dures et pourtant il tenait bien. Pour un instrument centenaire, ce n'est pas mal... Il se trouve que, dans la mesure où nous le restaurons complètement, nous allons le recheviller afin de repartir, d'une certaine manière, sur des bases plus "sûres". Mais ce genre d'opération n'est pas systématique. C'est un peu comme le problème des tables d'harmonie ; Certains pianos ont une table fendue et sonnent encore bien, tout dépend où sont situées les fentes et quelle est leur ampleur. Bien sûr, dans le cas où il y a des barrettes décollées, on peut rencontrer des problèmes de vibration. J'imagine que la restauration est aussi une question de bon sens : il est difficile de considérer les opérations séparément car, en fait, elles sont souvent liées. Pour prendre un exemple : si, sur un piano que vous restaurez, vous voulez flipoter la table, il faut changer les chevilles. Si vous changez les chevilles, vous vous

dites : est-ce qu'il ne faut pas flipoter la table ?! (rires). Somme toute, c'est assez logique ; car si, sur votre piano, vous changez les chevilles sans toucher à la table et qu'au bout de cinq ans celle-ci se met à grésiller, vous serez dans une situation stupide. Il vous faudra refaire la table, donc décorder et, par conséquent, changer des chevilles qui sont encore bonnes.”

Et passer systématiquement à la taille supérieure ?

“Tout à fait mais, d'une manière générale, il y a tout de même une bonne marge, on peut en principe recheviller trois fois. Après, le sommier est compromis, tout a une limite... Mais, dans la mesure où on peut changer le sommier, l'instrument reste restaurable.”

Vous arrive-t-il de changer des chevalets ?

“C'est assez rare. On trouve parfois des pointes fendues ; ou encore une semelle de chevalet abîmée. Dans les cas graves, on est amené à refaire la partie endommagée ou même toute la pièce, en hêtre ou en multiplis, selon la fabrication de la pièce d'origine. Mais là encore, il ne faut pas être systématique : on voit quelquefois des pianos dont les pointes sont fendues, et cela depuis 20 ans et malgré cela l'instrument ne bouge pas. La stabilité d'un instrument peut tenir à peu de choses. Il m'est arrivé de voir des pianos dans un endroit, accordés tous les ans, avec un cadre en bois ou même une fonte cassée, le chevalet en piteux état et le piano tenait fort bien ! Un jour, le piano déménage et là, catastrophe, l'instrument se déstabilise, il dégringole et on ne peut plus rien faire.”

Comment contrôlez-vous la charge quand vous recordez un instrument ?

“On utilise pour ce faire une cordelette que l'on positionne en lieu et place des cordes, c'est-à-dire aux chevilles côté sommier et aux pointes d'accroche à l'autre bout. En tendant cette cordelette, on vient toucher un bord du chevalet,

mais la table n'étant pas chargée, il y a un espace entre la cordelette et l'autre bord du chevalet. C'est cet espace qui permet de juger du réglage à faire ; il faut entre deux et cinq millimètres selon les cas. Le réglage de charge est bien entendu une affaire de compromis. si l'on charge trop, il y a un risque de retourner la table, en fait de la rendre concave mais d'un autre côté une charge trop faible aura pour effet de produire un instrument qui ne sonne pas.”

On dit souvent que les pianos sont sensibles à l'humidité, qu'en est-il ?

“D'une manière générale, un instrument ancien s'accommodera d'un taux d'humidité un peu plus élevé qu'un instrument moderne. Bien entendu, lorsqu'on travaille sur un piano, il faut tenir compte de ce critère : on ne peut restaurer un instrument trop humide sous peine d'obtenir un résultat instable. Mais avec l'habitude, c'est une chose que l'on sent assez bien, d'autant plus qu'on peut utiliser un humidimètre qui donne des résultats fiables. En ce qui me concerne, si un instrument arrive dans mon atelier en étant trop humide - ce qui n'arrive pas souvent - je le laisse reposer afin qu'il revienne à une valeur raisonnable, entre six et huit pour cent avant d'entamer un travail dessus. Mais il faut souligner qu'un instrument souffre plus souvent des variations d'humidité que de l'humidité elle-même, tant que l'on reste bien sûr dans des valeurs raisonnables. Par ailleurs, il n'y a pas que des parties telles que la table qui sont sensibles à ce facteur ; la mécanique de l'instrument réagit elle aussi à l'humidité. Les bois mais surtout les feutres y sont sensibles : des feutres trop humides ont tendance à se ramollir et donnent un son étouffé, sourd, alors que certains pianos dont les feutres de marteaux sont trop secs auront tendance à produire un son métallique.”

Pianos de charme...

L'intérêt pour des instruments vieux de plusieurs générations n'est pas, on l'aura compris, uniquement guidé par la nostalgie d'une époque. Pas plus qu'il n'est comparable avec celui qu'on peut éprouver pour ce qu'on appelle les instruments anciens : viole, clavecin, flûte baroque (précisément...) ; instruments d'une époque révolue, indissociables d'une forme musicale ou, en tout cas, de sa redécouverte, de sa relecture. Le piano, lui, ne peut prétendre à un tel anachronisme. A bien des égards, nombre d'instruments du début du siècle sont déjà éminemment modernes. Ce qui les différencie des instruments actuels, c'est une personnalité sonore plus affirmée d'un modèle à l'autre, en quelque sorte un refus de la standardisation, charmes auxquels s'ajoute une facture souvent très belle, exempte des compromis si courant de nos jours.

Remerciements

M. Salmon, pianos Hista, depuis 1930. 1, rue Louis Ganne, 75020 Paris. Tél. : 43.64.00.27.

Bibliographie

Cet article doit beaucoup à l'excellente synthèse réalisée par **Denis Lavaillant** dans son ouvrage "Le piano", paru aux éditions J.-C. Lattès, 1986 (I).

D. Douau, "Etudes des propriétés acoustiques des bois de résonance", DEA d'Acoustique, 1983, Université Paris VI (II).

R. Gug, "Traitement des Bois d'après des Documents allemands du XVIIIème siècle", Actes du Colloque "Recherche Scientifique et Facture", CENAM, Paris, 19-20 avril 1985 (III).

Neville H. Fletcher, Thomas D. Rossing, "The physics of musical instruments", éd. Springer Verlag, New York, 1991.

* "The letters of Mozart and his family", éd. par **Emily Anderson**, St Martin's Press, New York, 1966, cité in (I).