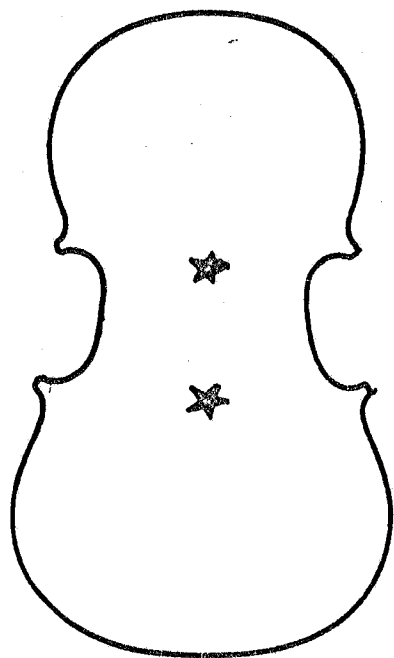


A. MAS

Une enceinte
acoustique
instrumentale



E. LEIPP

La courbe de
réponse en
acoustique
instrumentale

n° 89

Février 1977

GAM

BULLETIN du GROUPE d'ACOUSTIQUE MUSICALE
Université de PARIS VI Tour 66 4 Pl. Jussieu PARIS 5°

UNIVERSITE PARIS VI
Groupe d'Acoustique Musicale
Laboratoire d'Acoustique
Place Jussieu - PARIS 5° - Tour 66
75230 - Paris Cedex 05

Paris, le 21 Février 1977

89° Réunion du G.A.M.

Thème : UNE ENCEINTE ACOUSTIQUE INSTRUMENTALE

Exposés : E. LEIPP : Le problème de la courbe de réponse
A. MAS : Une enceinte acoustique instrumentale

M. le Doyen GAUTHIER, n'a pu se joindre à nous pour cause de santé.

MM. les Professeurs R. SIESTRUNCK et J.J. BERNARD retenus par des obligations professionnelles.

Etaient présents :

M. LEIPP secrétaire général
Melle CASTELLENGO secrétaire.

Puis, par ordre d'arrivée :

M. LELOUX (RTB, preneur de son); M. MICHAUX (étudiant); M. DELCAMPE (étudiant);
Melle LEROY (EPHE, Directeur de recherche); M. BESNAINOU (CNRS); M. UBELMANN (techni-
cien); Melle BAZANTE (EPHE); M. MAGDO (Etudiant); M. BIZEUL; M. BORREDON (musicien);
M. ALCURI (chercheur); M. MOIROUD (Ing. du son); M. DUMOULIN; M. RATTINACANNOU (Etu-
diant); M. CORDEAU (Prof.); M. CARRE (retraité); M. BAERD (Ingénieur ONERA); M. FREDE-
RICH (ing. du son); M. John WRIGHT (Ethnomusicien); M. ALLARD (étudiant, musicien);
M. CONDAMINES (Ingénieur); Mme CAMHY-VAL (Maître-assistante); M. AROM (ethnomusicologue);
Melle FENOUILLET (orthophoniste); M. ERDOS (musicien); M. JOUHANNEAU (CNRS); M. MARTIN
(technicien); M. DUPARCQ (musicien); M. BATISSIER (secrétaire SIERE); M. DUPREY (ar-
chitecte); M. GRISEY (Compositeur); M. CORMIER (luthier); Dr CLAVIE; Dr KADRI (ortho-
phoniste); M. GATIGNOL (Maitre-assistant); M. Sam BARUCH (ing. conseil); Dr ROUSSAT;
M. BOURGUOIN-MILLER (orthophoniste); M. KOSSEF (Etudiant); M. DESPRINGRE (CNRS);
M. SANSONNETTI (Etudiant); M. J.S. LIENARD (CNRS); M. MUSKA (ingénieur); M. M. BRIGUET
(Ing. du son); M. BILLAUD (Labo. ac. du CNAM); M. GAEL (compositeur); M. LEGER.

Etaient excusés : M. Charles MAILLOT; M. FRANCOIS; Dr POUBLAN; M. QUESNE; Sylvie HUE;
Mme FULIN; Melle NOUFFLARD; M. JOSSERAND; M. ANSELME; Mme STRAUSS; M. GEAY; M. BAR-
GEON; M. LEHMANN; M. GEUENS; M. LARACINE; M. SOLE; Mme BRAN-RICCI; M. FONTAINE;
M. CEDEN; M. GUIGNARD; Dr PERROT; Mme GALMICHE.

PERIODIQUE : 6 numéros annuels

Imprimeur : Laboratoire de Mécanique Physique de l'Université de PARIS VI
Directeur de la publication : M. le Professeur R. SIESTRUNCK
N° d'inscription à la Commission Paritaire : N° 819 ADEP
Prix de l'abonnement annuel : 60, 00 F (6 à 7 numéros)
Prix du numéro : 16, 00 F

LE CAS DE LA COURBE DE REPONSE

par E. LEIPP

I. INTRODUCTION

Les enceintes acoustiques et leur rendement musical sont depuis des décennies l'objet de discussions et de disputes passionnées, dont on retrouve des échos chaque année au Festival du Son. Les tenants des "tests objectifs" et des "tests subjectifs" n'ont en fait jamais réussi à se mettre d'accord quant à l'évaluation de la qualité des haut-parleurs et des baffles : le seul maillon de la haute-fidélité qui échappe actuellement à la perfection...

Je n'aborderai ici que l'un des points de litige en présence : celui de la "courbe de réponse", parce que c'est un point que j'ai particulièrement étudié autrefois, du temps où la lutherie était l'objet essentiel de mes préoccupations. Comme MAS a étudié et construit un baffle en s'appuyant sur les techniques de fabrication d'instruments de musique, l'occasion est favorable de reprendre ici la question des relations entre la qualité sonore d'un "transducteur" et sa courbe de réponse. MAS nous donnera plus loin toute les autres informations utiles sur ce qu'il a réalisé. Les auditeurs présents lors de notre réunion du GAM auront d'autre part eu tout loisir d'écouter de longs échantillons musicaux, alternativement sur des baffles conventionnels de qualité reconnue puis sur le baffle de MAS. Finalement, il est bien évident qu'une chaîne acoustique est faite pour être écoutée par un système auditif humain; c'est l'avis statistique des auditeurs qui décide si tel système de chaîne ou tel maillon est "bon" ou "mauvais"... Le problème, en réalité, est de savoir ce que signifient les méthodes utilisées par la technologie électro-acoustique pour définir les performances d'une chaîne ou d'un maillon, et de voir dans quelle mesure les résultats obtenus par les voies métrologiques peuvent se raccorder avec les avis "subjectifs" des auditeurs. J'ai été confronté exactement avec les mêmes problèmes à l'époque (lointaine..), où, avec MOLES, nous tentions de mettre sur pied une méthode pour tester la qualité d'un violon. L'affaire mérite qu'on fasse un retour en arrière sur cette question, qui, finalement, pose clairement le problème en cause ici.

II. POSITION DU PROBLEME

MAS nous dit qu'il conçoit et construit son enceinte acoustique comme on conçoit et construit un instrument de musique. Une première question se pose évidemment : à quel instrument de musique pense-t-il? Evidemment à un instrument comportant, comme son baffle, une somme d'éléments matériels couplés, en particulier des planchettes, des planches, des barres, des "âmes" etc... Dans ces conditions, quel instrument plus extraordinaire pourrait-on prendre comme modèle autrement que le violon? Et dès lors le sujet me concerne tout particulièrement...

Je rappelle en effet qu'en 1960, dans le cadre du Laboratoire de Mécanique de l'ex-Faculté des Sciences, j'ai soutenu une thèse dont le titre est "Les paramètres sensibles des instruments à cordes", devant un jury composé de M. FOCH, président et de M. LUCAS et SIESTRUNCK... Ce qui était en cause alors était essentiellement le violon, et j'apportais alors le résultat de nombreuses années de recherche sur cet instrument que je connaissais particulièrement bien puisque j'en jouais et que j'en fabriquais depuis longtemps.

Une thèse, en général, n'est pas faite pour être relue vingt ans après... Mais j'ai eu la curiosité de reprendre ce travail, dont la préface contient quelques idées générales qui me semblent avoir conservé leur intérêt, et que l'on peut reprendre ici, car elles justifient l'intérêt qu'il peut y avoir de prendre le violon comme modèle pour réaliser une baffle! Voici à ce sujet quelques brefs extraits de l'introduction de cette thèse :

" Le violon représente le cas le plus parfait, le plus achevé, le mieux stéréotypé d'une famille d'instruments (alto, violoncelle, contrebasse) qui se ressemblent étroitement. Il n'a pratiquement subi aucune modification de dimensions ou de forme depuis quatre siècles, malgré d'innombrables tentatives pour le perfectionner. Il représente donc une sorte d'aboutissement technique et est intéressant à étudier pour cela. Il est le résultat d'une graduelle épuration ayant conduit à une sorte d'asymptote de l'évolution, où tous les paramètres ont acquis leur valeur optimum dans un système d'interactions très complexes. Il est l'instrument à archet type.

.... Les instruments de musique sont destinés à transmettre des messages entre humains..... Un instrument de musique n'a de sens que par rapport à l'anatomie et la psycho-physiologie humaines. La physique des instruments de musique ne peut donc être définie, en particulier, que par rapport aux propriétés de l'oreille humaine et aux processus d'intégration qui se déroulent entre l'oreille et le cerveau".....

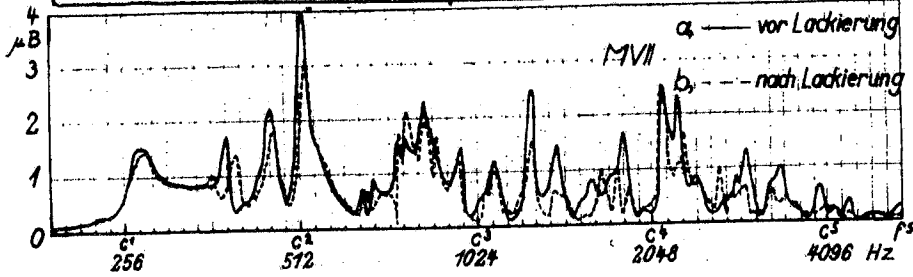
...." Les instruments de musique traditionnels sont pour une large part le fruit de l'empirisme... S'ils n'ont pas été conçus par les physiciens, ceux-ci y ont cependant trouvé l'occasion d'appliquer un certain nombre de lois physiques, ce qui les a conduits à des études fragmentaires sur leur fonctionnement."....etc.

La suite de cette thèse était une tentative pour comprendre le rayonnement acoustique du violon à partir des mécanismes de fonctionnement de l'instrument, le but ultime étant la mise au point d'une "fiche caractéristique" permettant de porter un jugement de qualité sur l'instrument. Ce sont les incitations de MOLES qui m'avaient poussé à réaliser cette fiche caractéristique où l'on tentait de chiffrer la valeur sonore d'un instrument à partir des paramètres en présence : niveau moyen, homogénéité de niveau, richesse du timbre, relief des formants, consonance des formants, durée des transitoires d'attaque et d'extinction etc... Pour chiffrer ces variables, j'utilisais alors les moyens acoustiques classiques à l'époque : l'oscillographe, l'enregistreur de niveau, le filtre à bande étroite, l'analyseur spectral à boucle magnétique etc... En outre, je préconisais le sonographe.... Or tous ces appareillages et méthodes (sauf le sonographe) étaient utilisés par les spécialistes de l'enregistrement et de la reproduction sonore, les électro-acousticiens de la radio-diffusion etc... depuis bien longtemps. Les conseils de MOLES, alors chercheur au Centre de Recherche Industrielle et Maritime de Marseille (CRSIM, dirigé par CANAC), furent précieux pour moi. MOLES me mit aussi en relation avec les quelques rares chercheurs qui avaient à l'époque fait des recherches dans le domaine qui m'intéressait : le violon. Le but de ces chercheurs était bien clair : ils cherchaient, avant moi, une méthode pour définir la qualité d'un violon avec les moyens métrologiques et graphiques qu'ils utilisaient à d'autres fins dans leur profession.... Et la pièce maîtresse de toutes leurs recherches restait la " courbe de réponse " de l'instrument.

Il n'est certes pas inutile de donner sur les recherches de ces précurseurs quelques détails; leurs travaux sont bien oubliés aujourd'hui, mais les conclusions qu'on peut en tirer restent d'actualité!

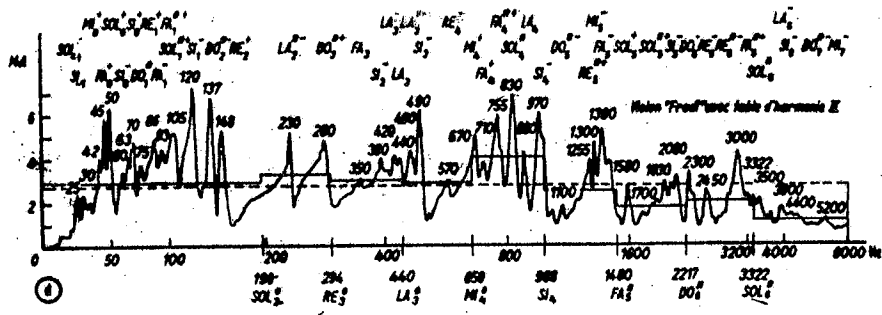
Courbes de réponse de violons

①



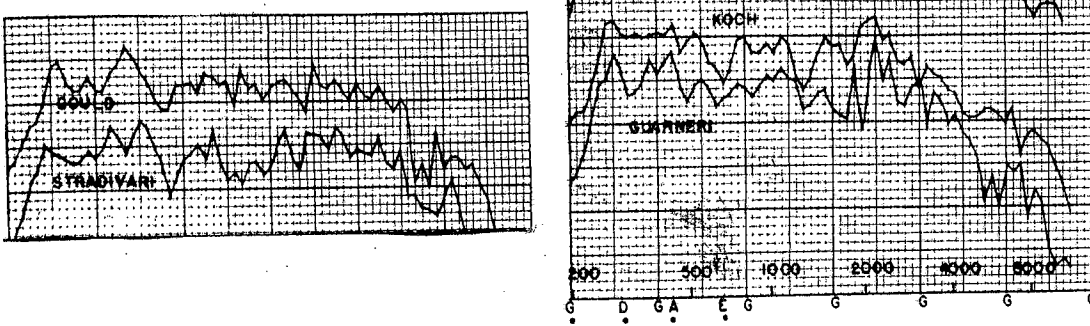
MEINEL 1938
violon avant et après vernissage

②



PASQUALINI 1939
essais de tables différentes sur le même violon

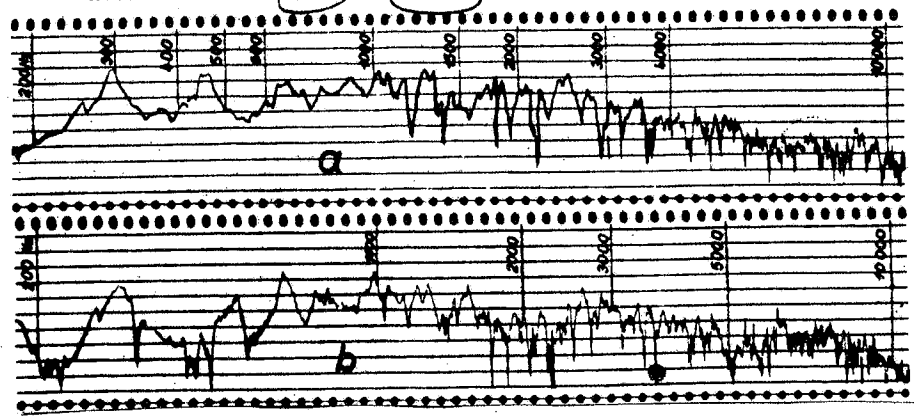
③



SAUNDERS 1940
Violons anciens et modernes

Abb. 1. Resonanzkurven einer guten und einer schlechten Geige. a) Stradivarius 1683; b) neuere Fabrikgeige

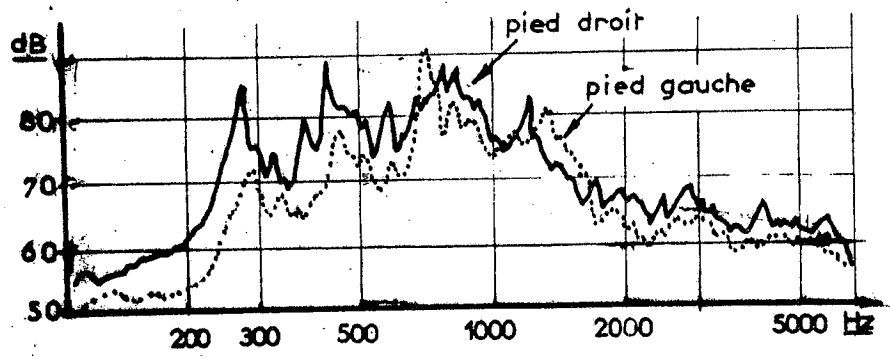
④



LOTTER MOSER et J. MEYER 1957

"bon" et "mauvais" violon

⑤



LEIPP 1958

Violon LEIPP: réponses pied droit et gauche du chevalet.

Dans tous les cas les courbes de réponse sont irrégulières...

III. LES PIONNIERS DE LA "COURBE DE REPONSE" INSTRUMENTALE

Le premier chercheur qui s'est penché sur le problème de la qualité des sons de violons en utilisant les moyens électro-acoustiques existants (microphone, amplificateurs, oscillographe etc...) fut certainement H. BACKHAUS (bib.1). Cet auteur avait déjà publié des recherches sur la forme vibratoire du violon dès 1931 (bib. 1a). En 1938 (bib. 1b) il publia dans la "Zeitschrift für technische Physik" un important travail relatif à sa méthode de test de qualité de violons. On y trouve le premier relevé de "courbe de réponse" de violons. Cette courbe peut être obtenue de diverses manières. On excite par exemple le chevalet à l'aide d'un générateur de sons sinusoïdaux balayant la gamme des fréquences audibles. On a utilisé divers procédés : excitation par électro-aimant, par système électro-statique ou, tout simplement (comme je l'ai fait) à l'aide d'impulsions mécaniques, c'est à dire par chocs. On relève et analyse la "réponse" de l'instrument et on obtient ainsi une "courbe de réponse" qui met en évidence les pointes de résonance du système résonateur complexe que constitue la caisse du violon.

BACKHAUS relève donc les courbes de réponse des violons qu'il étudie, et d'autres chercheurs utilisent bientôt ses méthodes. Ainsi MEINEL (bib.2) nous donne les courbes de réponse de trois violons ayant des épaisseurs de tables très différentes (fig.1). Les trois courbes de réponse s'avèrent effectivement différentes. Observation importante : le moins qu'on puisse dire est que ces courbes de réponses ne sont absolument pas "plates"!

BACKHAUS donne ensuite de même les courbes de réponse comparées entre deux violons à vernis différents : dans tous les cas les courbes de réponse restent extrêmement irrégulières.... Ce résultat est-il imputable aux appareillages et aux méthodes utilisés? Voici la réponse.

Très peu de temps après BACKHAUS, un chercheur italien, électronicien travaillant à l'Institut Corbino à Rome, publia dès 1939 des courbes de réponse d'autres violons, qui présentent exactement le même caractère apparemment aléatoire et irrégulier (Fig.2). Ce chercheur est Giocchino PASQUALINI (bib.2) qui développa longuement ses recherches sur ce sujet par la suite. Mais voyons un autre cas.

Dès 1940, un professeur de physique de l'Université de HARVARD se passionna pour le même sujet et publia les résultats de nombreuses recherches qu'il fit. La première publication date de janvier 1940 (bib.3), et le titre en est "A scientific search for the secret of Stradivarius" (résultats présentés à un colloque le 18 janvier 1939). L'intérêt de ces publications est que SAUNDERS nous donne des courbes de réponse d'instruments célèbres (Stradivarius, Guarneri etc...), qu'il compare avec des instruments modernes (fig.3). Hélas : les courbes de réponse d'un Stradivarius ne sont pas plus régulières ni plus lisses que celles d'un instrument médiocre quelconque!...

Par la suite, quelques chercheurs du PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt de Braunschweig) reprirent la question. Dès 1957 LOTTERMOSE et J. MEYER publient leurs résultats, et donnent également leurs courbes de réponse - toujours aussi irrégulières... Ces chercheurs apportent aussi quelques résultats d'analyses par bandes de demi-octaves, en essayant de raccorder les courbes obtenues avec la "sonorité", considérée d'après celle des voyelles (le violon sonne comme "a", "o", "ou" etc...) (fig.4).

Vers cette même époque j'emboitai le pas de ces chercheurs et mis au point ma méthode de relevé de la courbe de réponse à partir d'impulsions mécaniques données en divers points de l'instrument ou du chevalet. J'avais construit une "machine à frapper" spéciale, pensant ainsi trouver des courbes de réponse plus satisfaisantes que mes prédécesseurs et collègues. On voit un exemple sur la figure 5 où je comparai la réponse d'un violon lorsqu'on l'excitait à gauche et à droite du chevalet.

Tout cela donnait des courbes aussi irrégulières que celles des autres chercheurs! Et j'en tirai un certain nombre de conclusions pratiques, que j'essayai de transposer dans le domaine pratique de la lutherie de violon.

L'idée directrice était simple : pour obtenir une courbe de réponse plus horizontale et moins accidentée, (que, comme d'autres, je pensais être une condition de qualité sonore) il fallait choisir des bois très amortis et utiliser des vernis mous. Dès lors, selon la théorie, les courbes de résonance individuelles des parties de l'instrument devaient s'applatir, et l'ensemble devenir "meilleur".

L'expérience montra rapidement que cet applatissage de la courbe ne donnait pas les résultats escomptés : mes violons réalisés ainsi étaient en fait plus "mauvais"! Je tirai alors la conclusion que la régularité de la courbe de réponse ne signifiait rien quant à la qualité sonore - ou du moins qu'elle ne permettait pas à elle seule, d'affirmer qu'un instrument était bon ou mauvais. Je m'engageai alors dans la recherche de la " constante de temps " des violons, et finalement, au moment de la création du Laboratoire d'acoustique dont je fus chargé, j'abandonnai le violon et la lutherie..

La question ne s'éclaira pour moi qu'un peu plus tard. A. MOLES venait de publier son ouvrage " Théorie de l'Information et perception esthétique " où je trouvai enfin les données qui me manquaient pour comprendre. Une idée maîtresse de MOLES concernait la dialectique banalité-originalité. Un son entièrement prévisible, qui se répète (serait-ce à des hauteurs différentes) en conservant sa même " forme " spectrale, devient rapidement prévisible; et tout ce qui est totalement prévisible est totalement inintéressant, banal, du point de vue esthétique. Inversement, une succession de sons totalement imprévisibles, " originaux " les uns par rapport aux autres, ne peut rien donner de cohérent, perceptivement, et leur assemblage est dès lors totalement " inintelligible ", inintéressante esthétiquement.

En quoi cela nous concerne-t-il ici? Pour le montrer considérons pour commencer un signal excitateur harmonique donné (fig. 6a) ayant une " forme ", définie par les amplitudes respectives de ses différents harmoniques (fig. 6a). Excitons avec ce signal un système résonant ayant une courbe de réponse plate (fig. 6b) : comme tous les harmoniques seront également favorisés par cette courbe de réponse, il est évident que le spectre résultant, rayonné par l'ensemble, aura une forme tout à fait identique à celle du signal excitateur (fig. 6c). De même, prenons un signal excitateur ayant la même forme que le précédent, mais dont le fondamental soit plus aigu (fig. 6a, en pointillés). Il est bien évident, qu'à la " hauteur du son " résultant près, le spectre du son final (fig. 6d) sera encore tout à fait identique à l'excitation - et aussi au spectre 6c. Bref, tous les sons émis par un tel système auront exactement la même "forme".... Mais comme il est bien connu que l'ennui naît de l'uniformité, la succession de tels sons (la musique réalisée par un tel système...) sera parfaitement ennuyeuse, les sons étant de forme totalement prévisible... Notons en passant, que c'est précisément le cas de beaucoup d'orgues électroniques et de "synthétiseurs " actuels, que l'expérience montre être détestables au bout de peu de temps d'audition....

Mais considérons à l'inverse un système à courbe de réponse tout à fait irrégulière (fig. 6b') associée, comme tout à l'heure au même signal excitateur (fig. 6a' et 6a). Si nous considérons ce spectre ayant un certain fondamental et que nous l'associons à la courbe de réponse (b'), nous trouvons un spectre dont la forme diffère notablement de celui de (6c); c'est évident parce que chaque harmonique est plus ou moins amplifié, selon sa coïncidence avec une pointe ou un creux de la courbe de réponse (b'). Mais si nous prenons le même spectre excitateur, simplement décalé en "hauteur" (6a' : en pointillé), il est clair que le spectre résultant (6d') aura une forme originale par rapport à (6c'), mais aussi par rapport à (6c) ou (6d). Bref, les sons émis par le système possédant une courbe de réponse irrégulière seront perceptivement beaucoup plus intéressants, parce que non ^{totalement} prévisibles, que les sons émis par le système (b)....

fig 6.

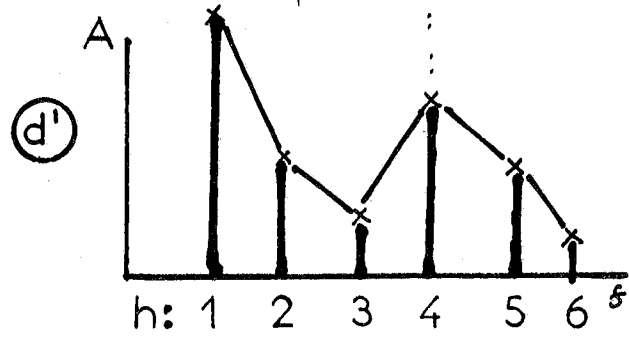
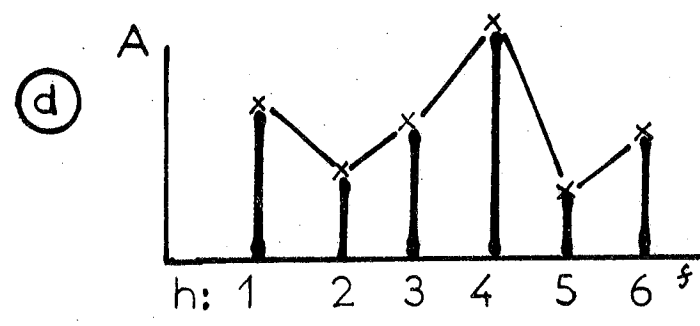
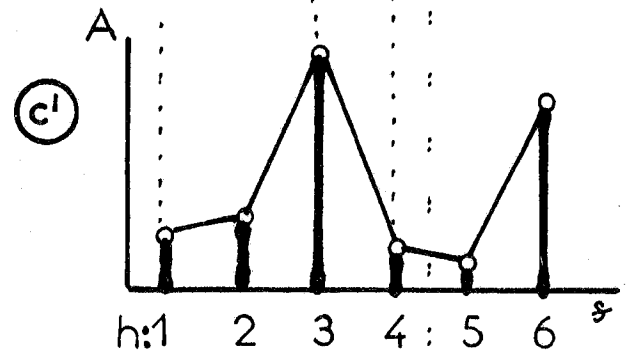
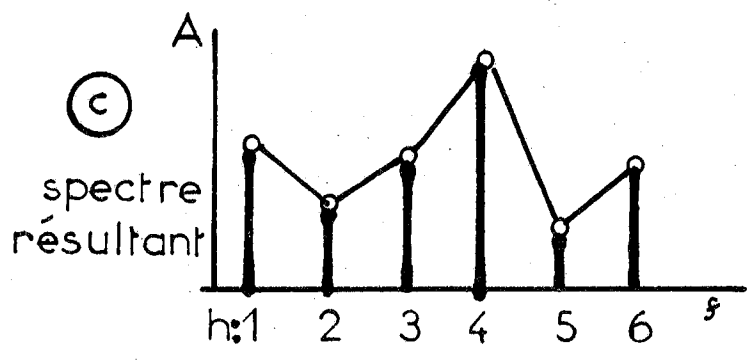
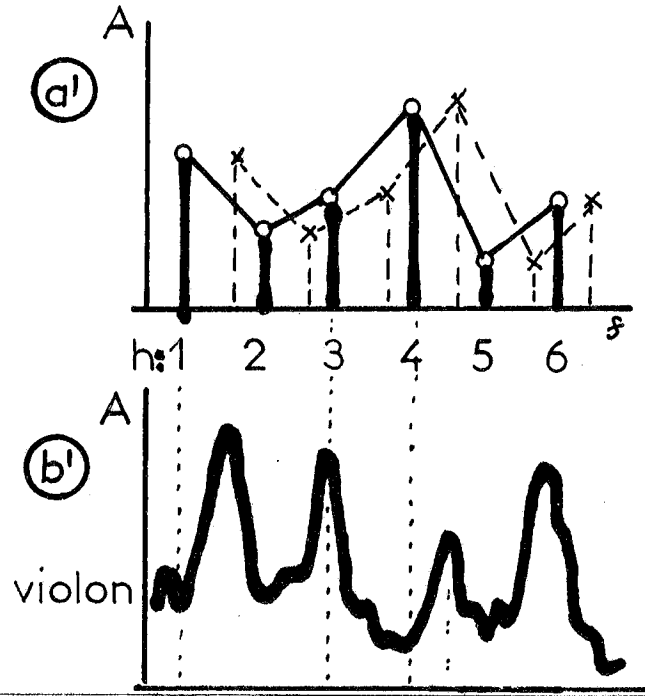
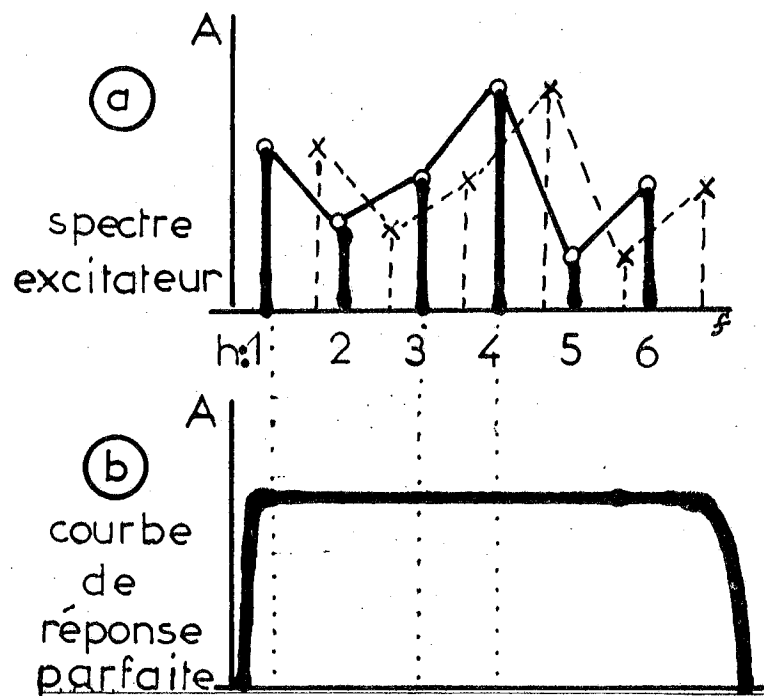
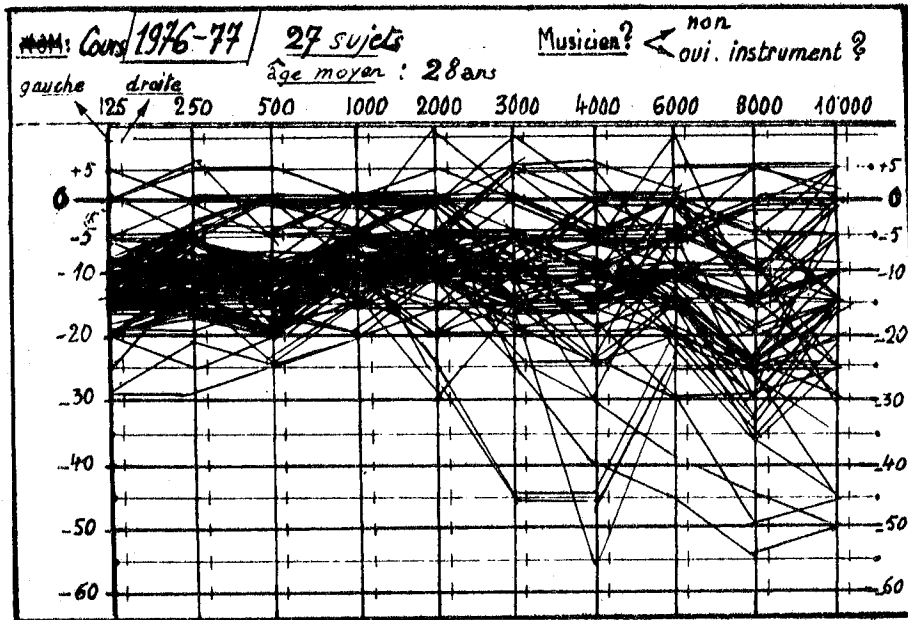


Fig 7

ASPECT STATISTIQUE de la COURBE DE REPONSE pour 27 sujets normaux



Pouvoir s \acute{e} p. temporel moyen \approx 20 ms
limites $\%$ (entre 2 et 50 ms)

On a superpos \acute{e} les audiogrammes de 27 "auditeurs normaux de musique (étudiants du cours d'acoustique de M. LEIPP - 1976-77). La majorité des sujets se situe entre 0 et -20 dB ; quelques sujets descendent à -40, -50 dB au-dessus de 3000 Hz. Il est donc évident que la courbe de réponse d'une chaîne d'écoute n'a de signification qu'à 20 ou 30 dB près. En fait, il faudrait ménager sur les chaînes un filtre réglable de correction permettant à chacun d'"accorder" la chaîne à son oreille personnelle.

Mais tous les problèmes ne seraient pas encore résolus... car nos oreilles diffèrent encore énormément en "pouvoir séparateur temporel" (Un tel est capable de saisir un événement, une "donnée", toutes les deux millisecondes ; à tel autre il faudra 50ms, et l'écoute de chacun sera différente pour cela.

A noter qu'il s'agit ici d'oreilles "normales", jeunes!!

En un mot, la régularité rigoureuse de la courbe de réponse est aux antipodes de la qualité esthétique en musique.... Et je pense que si l'enceinte faite par MAS sur les données de la lutherie est appréciée à l'audition, c'est parce qu'elle n'a justement pas la belle courbe de réponse théoriquement désirable aux yeux des spécialistes.

Mais alors une question importante va se poser... Une enceinte à courbe irrégulière ne peut par définition être de "haute fidélité"... A cela j'objecterai - sans chercher à convaincre quiconque - que la haute-fidélité est un mythe. Il est aisé de démontrer que ce que l'on entend à la sortie des haut-parleurs d'une chaîne électro-acoustique d'audition n'a que des rapports très lointains avec ce qu'entendent les auditeurs écoutant l'œuvre dans les conditions normales, en salle de concert par exemple. J'ai fait sur ce point de nombreuses recherches dont les conclusions sont absolument formelles : les phénomènes acoustiques perçus en divers points d'une salle de concert, près de l'oreille d'un soliste, et à diverses places (enregistrements simultanés avec matériel professionnel) n'ont que des rapports tout à fait lointains, acoustiquement (mais non musicalement....). A fortiori, une prise de son professionnelle et une audition sur chaîne acoustique dont chaque maillon introduit son bruit de fond et ses distorsions (seraient-elles minimes...) ne peut en aucun cas être "fidèle". Par contre, elle peut être appréciée comme "intéressante" ou non par un auditeur ou un groupe d'auditeurs. Le but à poursuivre en enregistrement et reproduction du son n'est pas d'être fidèle, mais d'être "intéressant, bon, vivant" etc...

L'important n'est donc pas qu'une enceinte soit fidèle; mais qu'elle soit auditivement "bonne". L'auditeur n'a de toutes façons aucun moyen de juger de la fidélité d'une reproduction dont il n'a pas entendu l'original. De plus chaque auditeur écoute l'enceinte à travers la "courbe de réponse" de son oreille personnelle, c'est-à-dire son audiogramme. Et on sait (Fig.7) à quel point les audiogrammes entre auditeurs "normaux" varient d'un individu à l'autre. Pour bien faire, il faudrait, comme je l'ai déjà suggéré au Festival du Son, doter chaque amplificateur d'un "modulateur de courbe de réponse" qui permettrait à chaque auditeur de régler sa chaîne selon son oreille. Mais le prix d'un tel complément est élevé. Alors, si la "fidélité" est un mythe, que faut-il donc demander à une enceinte? Voilà mon avis personnel. La fidélité est bien inutile; par contre ce qui est extrêmement important est que l'enceinte soit "sensible", qu'elle réponde aux moindres sollicitations : c'est aussi ce qu'on demande à un bon violon... Ici, la courbe de réponse n'est d'aucun secours : il faudrait repenser le problème du test de "sensibilité" des enceintes, lié à la notion de réponse aux transitoires (tout message sonore, parole ou musique étant de toutes façons constitué uniquement de "transitoire"...).

Mais c'est là une autre affaire qui n'est pas mon propos ce jour, et je préfère donner la parole à Alain MAS !

E. LEIPP

, Paris 7 Février 1977

...../

BIBLIOGRAPHIE

- 1°) BACKHAUSS (H) - Über die Schwingungen von Geigenkörpern. Zeitschrift für Physik 62 (143) 1930.
- 2°) MEINEL (H) - Zur schalltechnischen Prüfung der klanglichen Qualität von Geigen. Zeitschrift für technische Physik 19 (10) 1938.
- 3°) PASQUALINI (G) - Relazione sulle prove eseguite presso l'istituto Nazionale di Elettro-acustica per addivenire ad una valutazione obbiettiva della qualita acustiche di alcuni violini. Ricerca Scientifica 11, 622 (1940).
- 4°) SAUNDERS (F.A.) - A scientific search for the secret of Stradivarius. The Journal of the Franklin Institute vol 229. N° 1 Janvier 1940.
- 5°) LOTTERMOSEER (W) et MEYER (J) - Akustische Untersuchungen an einigen neuen Geigen von H. EDLER. Instrumentenbauzeitschrift cahiers 2 et 3 (1964).
- 6°) LEIPP (E) - Les paramètres sensibles des instruments à cordes. Thèse d'Université, Faculté des Sciences, Mécanique, Sorbonne 1960.
- 7°) LEIPP (E) - La machine à écouter; essai de psycho-acoustique. Masson, Paris (1977).

E. LEIPP

Paris 7 Février 1977

UNE ENCEINTE ACOUSTIQUE INSTRUMENTALE

par Alain MAS

1°) REALITE SONORE ET HAUTE FIDELITE

Les techniques d'enregistrement et de reproduction des sons s'appuient sur une connaissance objective des phénomènes sonores et les résultats obtenus peuvent satisfaire un grand nombre de mélomanes et d'auditeurs. Pourtant, même pour les oreilles peu exercées, il existe une différence de sensation évidente entre les sons réels originaux et les sons reproduits. On appelle " haute fidélité " l'atténuation plus ou moins sensible de cette différence. Il s'établit ainsi une relation entre leurs caractères distinctifs faisant apparaître certaines propriétés intrinsèques des sons originaux. Ces propriétés ne pourraient être perçues si ceux-ci conservaient une valeur absolue de réalité irremplaçable. Dans ce cas, elles seraient confondues dans l'évidence naturelle de leur manifestation et échapperaient non seulement à l'analyse mais encore à la conscience. C'est donc de la reproduction des sons que sont dégagés les caractères physiques et subjectifs de leur réalité originale. La haute fidélité attire l'attention sur ces caractères dans la mesure où ils échappent encore à l'appréhension des techniques d'analyse et de reproduction, prenant ainsi un relief particulier dans la perception directe des phénomènes sonores réels. Il est important de noter cette prise de conscience moderne qui modifie le processus psychologique de l'audition. Par exemple, l'écoute d'un concert enregistré influence l'écoute directe du même concert en mettant en évidence les aspects spécifiques des sons réels que la mémoire comparative présente sous la forme d'une information différente ou plus sèche.

Il est certain que la haute fidélité s'est nommée par rapport à une fidélité antérieure moins " haute ". En ce sens, elle a évolué en elle-même dans une suite de perfectionnements techniques bien définis, mais en quelque sorte, en dehors d'une définition complète de la réalité sonore perçue. Car, bien qu'une connaissance incontestable de cette réalité soit vérifiée par les résultats de la haute-fidélité, la dualité sons réels - sons reproduits pose la question fondamentale : Qu'est-ce que la réalité sonore pour l'auditeur ? Cette question, essentiellement relativiste puisqu'elle est posée par un dualisme irréductible, ne saurait trouver une réponse absolue. En effet, si les sons reproduits ne peuvent être définis en eux-mêmes, ce qui est absurde, il en est de même des sons modèles ou originaux inconcevables en tant que tels en dehors de toute comparaison. L'étude non relativiste et objective des sons en général ne peut donc s'inscrire dans ce dualisme fermé sur lui-même qui demeure l'aire essentielle des problèmes de la haute fidélité. Il en résulte que l'orientation des progrès techniques si elle est motivée par une théorie physique objective, se situe en dehors de cette aire, et si elle tient compte des données relativiste et subjectives de la HI-FI, elle relève alors plus d'une conception philosophique que physique d'un certain réalisme sonore à l'égard de l'audition. Il semble en effet que l'analyse des phénomènes sonores et la mise au point de l'appareillage destiné à les reproduire ne sauraient avoir de signification en dehors de leur utilisation auditive. Cette fin subjective suffit à elle seule à poser les limites des impératifs techniques définis à l'intérieur des données de la métrologie physique.

Pourtant, l'extension du marché de la HI-FI exige la possibilité d'une comparaison rigoureuse des appareils à partir de critères objectifs et chiffrés. Les mesures ainsi établies apportent des renseignements fort importants pouvant éclairer certaines recherches mais ne permettent pas d'établir une théorie de la haute fidélité. Le processus de l'audition se dérobe à toute définition objective basée sur les mesures. La loi de Fechner, les courbes d'isotonie de Fletcher pas plus que les audiogrammes ni

les expériences de laboratoire ne sauraient suffire à définir statistiquement ce que les oreilles attendent de la haute fidélité. C'est pourtant, ce qui importe le plus. Mais ce problème a été différé tant que la technologie n'était pas capable d'atteindre certaines performances minimales en deçà desquelles il ne saurait être question de rechercher la moindre qualité de reproduction sonore. C'est précisément quand les performances des appareils atteignent et même dépassent de beaucoup les possibilités perceptives de l'oreille considérées dans le cadre des mesures normatives habituelles qu'on peut se demander ce que celle-ci exige au-delà ou au-dehors de ces mesures. C'est ainsi que les amplis perfectionnés offrent une bande passante, une variation de cette bande passante et des taux de distorsion que l'oreille la plus exercée serait incapable d'évaluer. Par contre, l'oreille, même ordinaire, est toujours sensible à la différence qui se manifeste entre la perception des sons réels et celle des sons re-produits. Il apparaît clairement que les possibilités perceptives de l'oreille ne correspondent pas aux performances techniques obtenues par les appareils. C'est particulièrement flagrant pour les enceintes acoustiques qu'on s'efforce de perfectionner en vue de rattraper les performances des amplis.

2°) LES ENCEINTES ACOUSTIQUES CONSTRUITES SELON DES NORMES PHYSIQUES BIEN DEFINIES

Pour atteindre ce but, on réduit les propriétés de l'enceinte à des caractéristiques mesurables, les mêmes que celles des amplis. On s'efforce donc de supprimer le plus possible les éléments incontrôlables. La conception des enceintes se trouve basée sur deux tendances complémentaires :

1) D'abord suppression au maximum des phénomènes acoustiques complexes susceptibles d'échapper à la prévisibilité technique et au contrôle des mesures : réduction extrême des matériaux vibrants, surtout non homogènes. C'est pourquoi l'énergie acoustique est contrainte de ne se manifester que par l'activité des membranes et des cavités résonantes de volume déterminé et rigoureusement " accordées ". L'usage de tout autre matériau vibrant est impérativement supprimé; d'où le succès des matériaux modernes anti-résonants : aggloméré, laté, staff, polyester....

2° tendance : Extension des procédés électroniques au-delà de leur rôle de transmission des signaux acoustiques transformés en énergie électrique. Ainsi, l'électronique vient " contrôler " le signal redevenu acoustique au niveau des éléments physiques actifs : membranes, résonateurs. Les systèmes " d'asservissement cinétique " et les amplis incorporés dans l'enceinte sont venus contraindre et compléter les seuls phénomènes acoustiques tolérés pour rendre possible l'audition ! La faiblesse de ces phénomènes est compensée par la puissance électrique de l'appareillage, la qualité de l'installation étant logarithmiquement proportionnelle au nombre de watts !

3°) CONSEQUENCES POUR L'AUDITION DES CONCEPTIONS NORMATIVES DE L'ENCEINTE ACOUSTIQUE

Les perfectionnements réalisés par la technologie des amplis servent de modèle pour les enceintes. On s'efforce en particulier d'obtenir une " courbe de réponse " étendue et régulière. Or, les corps vibrants (membranes, plaques, tiges) en raison de la structure plus ou moins complexe des matériaux et en fonction de leur forme, favorisent certaines fréquences plus que d'autres : ils présentent des " pointes de résonance ". Comme il faut de toute évidence produire des signaux acoustiques audibles, ce dont les amplis se dispensent - la solution consiste à maîtriser les vibrations des éléments actifs auxquels on est obligé d'avoir recours. On réduit l'activité de ces éléments vibrants et on obtient ainsi une meilleure régularité de la réponse amplitude - fréquence : un rendement faible correspondant à une réponse plus régulière, les bonnes enceintes exigent une grande puissance d'amplification.

Cependant, cette méthode présente des inconvénients importants à l'égard de l'audition :

1°)- d'une part, toute courbe de réponse régulière ou non se trouve considérablement modifiée par l'addition de courbes de réponse autres que celle de l'appareil considéré, notamment, celle de la salle d'enregistrement, en relation avec la position des micros, celle de la salle d'écoute (plus précisément du lieu d'écoute dans cette salle) et en dernier lieu, celle des oreilles de l'auditeur. Il est important de remarquer à cet égard que les oreilles normales ont des courbes de réponse fort irrégulières et toutes très différentes, même pour un seul auditeur.

De toute évidence, la régularité de la courbe de réponse d'un appareil ne présente aucun intérêt pour l'oreille et il est impossible de la préserver des déformations résultantes.

Mais il n'est pas seulement vain de chercher à obtenir cette régularité. En effet, comme on l'obtient au moyen d'une réduction du rendement par un couplage systématique du H.P. avec les parois inertes de l'enceinte, il en résulte plusieurs conséquences :

d'abord la réduction du rendement se traduit en fait par une compression des différences d'intensité, c'est-à-dire de la dynamique.

- les nuances de l'expressivité musicale s'en trouvent donc réduites et ont tendance à se confondre.

- les timbres caractérisés par les différences d'intensité entre les harmoniques et les partiels se trouvent réduits, perdent l'éclat de leur " couleur " propre et tendent à se rapprocher les uns des autres et même à se confondre dans le cas de formations complexes.

- l'aplanissement du relief des timbres laisse apparaître la coloration permanente de l'enceinte et de l'ensemble de la chaîne. Une enceinte " neutre " qui limite les contrastes de timbres par réduction de dynamique, produit donc une " coloration " parasite qui s'entend d'autant plus que le message transmis a moins de relief.

2°)- Le rendement de l'enceinte est réduit par le couplage du H.P. avec des parois anti-résonantes. Or, l'énergie acoustique se répartit en intensité et en temps. Ce qui est perdu en intensité se trouve gagé en durée, c'est-à-dire en " traînage ". Ce principe est connu depuis fort longtemps. Il était utilisé en particulier par les anciens facteurs de clavecins qui savaient en tirer le meilleur parti :

les instruments flamands aux parois épaisses et denses relativement inertes, ont des sons prolongés avec une attaque assourdie. Au contraire, les clavecins italiens ont des parois minces et légères : les sons émis sont brefs avec une attaque intense et claire; il serait important d'en tenir compte dans le cas d'une enceinte si on tient à supprimer le traînage et à obtenir une bonne restitution des impulsions et de tous les sons transitoires.

On entrevoit ici l'intérêt de se référer aux instruments de musique traditionnels. Destinés exclusivement à l'audition et non à un contrôle de mesures, ils sont parfaitement adaptés aux propriétés de l'oreille. Ils produisent des sons très divers et très riches en timbres et en transitoires. Or, les travaux d'Emile LEIPP ont montré que les sons naturels et musicaux ne sont constitués que de transitoires qui ne se manifestent pas seulement au moment de l'attaque et de l'extinction.

D'autre part, complétant les travaux de M. LEIPP, les théories de MOLES montrent l'importance extrême des transitoires pour la perception. C'est ainsi que l'in-

formation sémantique de la parole, qui est naturellement adaptée aux propriétés de l'oreille, est essentiellement supportée par les consonnes qui sont en fait des phénomènes strictement et totalement transitoires. Pour que la parole soit intelligible, il est dès lors nécessaire de conserver intégralement les consonnes, " éléments porteurs de sons ", alors qu'il suffit de conserver 10 à 15 % de la longueur des voyelles, qui représentent les sons relativement stables. D'ailleurs, la sensibilité auditive ne peut saisir directement la périodicité qui caractérise les sons stables. La périodicité ne serait perceptible qu'au moment où la fréquence devient inaudible (en dessous de 20 Hz, le seuil de perception de la durée sonore étant environ de 1/20 de seconde). MOLES remarque donc justement que " l'approche phénoménologique s'oppose a priori à l'approche scientifique ".

Il ne faut donc pas s'étonner si l'analyse des sons sinusoïdaux que peut produire une enceinte renseigne fort mal sur ses aptitudes à produire des sons musicaux. Les méthodes plus récentes qui consistent à étudier le comportement d'une enceinte en " bruit rose " et en milieu " semi-réverbérant " n'apportent guère de meilleurs renseignements en ce qui concerne le rendu des timbres et des transitoires. Il en est de même de toute mesure objective prise dans des conditions conventionnelles. Seuls, les sonagrammes donnent des renseignements complets sur les sons de toute nature, mais il ne s'agit plus de mesure : le sonagramme est une représentation de la sensation. C'est pourquoi il est à la fois précis et complet.

4°) IMPORTANCE DES TRANSITOIRES

Les transitoires par définition, sont évolutifs et ils créent les modifications constantes des messages sonores. Ils véhiculent l'information qui détermine l'originalité du message, c'est-à-dire de son imprévisibilité, donc de ses changements, en se référant encore à la théorie de MOLES. Leur rôle est lié à celui de la dynamique qui définit l'originalité de chaque timbre à chaque instant aussi court soit-il.

En conséquence, il est certain que si les transitoires sont mal définis et la dynamique réduite, le message sonore se dégrade, se dérobe à la perception et tend à devenir un bruit de fond. Comme le débit maximum d'information perceptible est très inférieur au débit des sources, il est particulièrement important de respecter les contrastes dans une restitution sonore de qualité. C'est précisément ce que propose l'enceinte acoustique instrumentale qui pour cela prend pour modèle les instruments traditionnels, en particulier le violon dont le dispositif présente des possibilités d'amplification, d'étendue en fréquences et de richesse de timbre si remarquables qu'il n'a pu être perfectionné. Mais les principes fondamentaux de la lutherie sont restés longtemps inutilisables, perdus dans l'obscurité de la routine et des " secrets " d'atelier - d'où M. LEIPP a naguère tenté de les tirer, en réalisant une étude rationnelle de la facture instrumentale et en posant les fondements d'une méthode qui ouvre la voie à de nombreuses applications. Ainsi, le violon étant défini comme un dispositif comprenant un système excitateur (les cordes frottées) et un système amplificateur (la caisse), on peut concevoir une enceinte acoustique dans laquelle le H.P. n'est pas le seul organe producteur de sons, mais devient lui-même un système excitateur. Une caisse active adaptée joue le rôle du système amplificateur. Il ne s'agit plus d'un dispositif situant le H.P. dans des conditions susceptibles de réduire les défauts de son comportement, mais d'un élément actif prolongeant le rôle acoustique de la membrane et transformant l'appareil de l'enceinte en instrument de musique polyvalent. Cet instrument, est destiné à produire des sons ayant les caractéristiques spécifiques des sons réels. Il donne des sons originaux une réplique non identique certes, mais en tout cas musicale et vivante. Si le son reproduit diffère du son modèle, comme c'est toujours le cas, en toute reproduction sonore, l'enceinte acoustique instrumentale lui rend par contre une réalité reconnaissable pour la perception auditive.

FONCTIONNEMENT DE L'ENCEINTE

Le haut-parleur est fixé au centre d'un panneau vibrant rectangulaire, travaillé à la façon d'une table d'harmonie. Ce panneau en sapin est découpé en forme de rosace devant la membrane du haut-parleur. Il est destiné à capter et à différencier les vibrations émises par la membrane. Il utilise la propriété anisotropique du bois qui est bien plus rigide dans le sens des fibres que dans le sens transversal, surtout dans le cas du sapin. La rigidité ne permet que des vibrations rapides de petite amplitude : elle favorise les aigus. La souplesse, au contraire favorise les graves, c'est-à-dire les vibrations plus lentes, de grande amplitude. Les fibres étant disposées dans le sens de la longueur du panneau portant le haut-parleur, les aigus sont propagés dans le sens des fibres et les graves dans le sens de la largeur. Les principales découpures de la rosace et les " ouïes " de la table d'harmonie sont pratiquées dans le sens des fibres afin d'augmenter la souplesse sans diminuer la rigidité ; elles contribuent à augmenter la différenciation des graves et des aigus. Les découpures de la rosace déterminent des " pieds " analogues aux pieds du chevalet dans le violon. En effet, ils prennent appui avec un certain décalage à l'égard des vis de fixation du haut-parleur, de façon à aménager deux degrés de liberté (un petit degré dans le sens des fibres aigus et un grand degré dans le sens transversal graves). C'est ce dispositif qui actionne la table d'harmonie en différenciant nettement les fréquences.

Les sons aigus conduits par les fibres parviennent aux côtés adjacents des panneaux courts. Ceux-ci sont de surface relativement réduite et sont épais : leur rigidité favorise donc les vibrations aiguës. Inversement, les graves parviennent dans les grands panneaux latéraux qui sont plus minces que les petits et destinés ainsi à favoriser les basses fréquences.

A l'arrière, des barres de tension, prenant appui au milieu des côtés des panneaux, relient 2 à 2 les panneaux égaux, assurant ainsi l'homogénéité du système vibrant qui est instantanément bloqué dès que le signal s'arrête (suppression du traînage). La différenciation des fréquences est ainsi conservée.

A l'intérieur, une " enceinte close " à parois sourdes est destinée à absorber et neutraliser l'onde arrière du haut-parleur. Elle est séparée par un espace d'air de l'enceinte extérieure et prend appui autour de la " rosace " sur la face interne, par une couronne isolante.

Le saladier du haut-parleur est relié rigidement aux parois de l'enceinte intérieure, ce qui a pour effet d'augmenter sa masse, donc d'immobiliser davantage le saladier et les 4 vis de fixation qui en sont solidaires. Cette précaution permet au dispositif de la rosace de fonctionner avec le maximum d'efficacité, surtout si l'on peut admettre que les deux enceintes vibrent en opposition de phase.

Les dimensions, les proportions et les épaisseurs des divers panneaux sont choisies empiriquement de façon à obtenir le maximum d'activité vibratoire, la rigidité et la souplesse optimum qui puissent éviter une trop grande inertie et une excessive mollesse pouvant compromettre la solidité de l'ensemble. Tout calcul précis, tout rapport logarithmique seraient vains étant donné que certains paramètres ne peuvent être évalués avec une précision suffisante (module d'élasticité et densité, variables selon la structure du bois, efficacité des découpures, des degrés de liberté, des tensions, etc...)

Mais ces imprécisions empiriques ne sauraient être sérieusement considérées comme un obstacle à la qualité ou à la fabrication de cette enceinte. Ses propriétés essentielles sont conservées à travers différentes variantes :

- accentuation de la dynamique et par conséquent, présence et différenciation des timbres.
- différenciation très nette des graves et des aigus malgré l'usage d'un seul haut-parleur.
- rendu précis des impulsions et de tous les transitoires
- suppression du traînage
- atténuation de la coloration parasite de la chaîne (salle d'écoute comprise) par l'accentuation des timbres originaux, et d'une façon générale du relief des contrastes, éléments essentiels de l'information.
- définition des différents plans sonores due à l'activité des diverses faces orientées différemment, et présence concrète de la source sonore évoquée par la reproduction, grâce à la directivité naturelle de l'enceinte qui se comporte comme un instrument de musique réel.
- rendement très élevé permettant de disposer d'une intensité acoustique considérable à partir d'une puissance électrique moyenne (2,8 volts à 500 Hz et 3 volts en bruit blanc pour 90 dB à 1 m dans l'axe).

En définitive, cette enceinte, même si elle s'oppose à la conception normative et à la technologie industrielle ainsi qu'à certains impératifs commerciaux, dans la mesure où elle atteint le but qu'elle se propose, elle représente une application des travaux d'Emile LEIPP sur les principes généraux des instruments de musique et sur la représentation complète des phénomènes sonores. De plus, dans le même courant d'idées, elle concrétise, par ses propriétés caractéristiques, les théories de MOLES relatives à l'"information et à la perception esthétique".



D I S C U S S I O N

M. LEIPP - Nous savons bien que les conditions d'écoute ne sont pas bonnes ici. Il ne s'agit pas de porter un jugement sur la haute fidélité. Il s'agit de choisir entre les deux enceintes: laquelle prendriez-vous? C'est ça le problème.

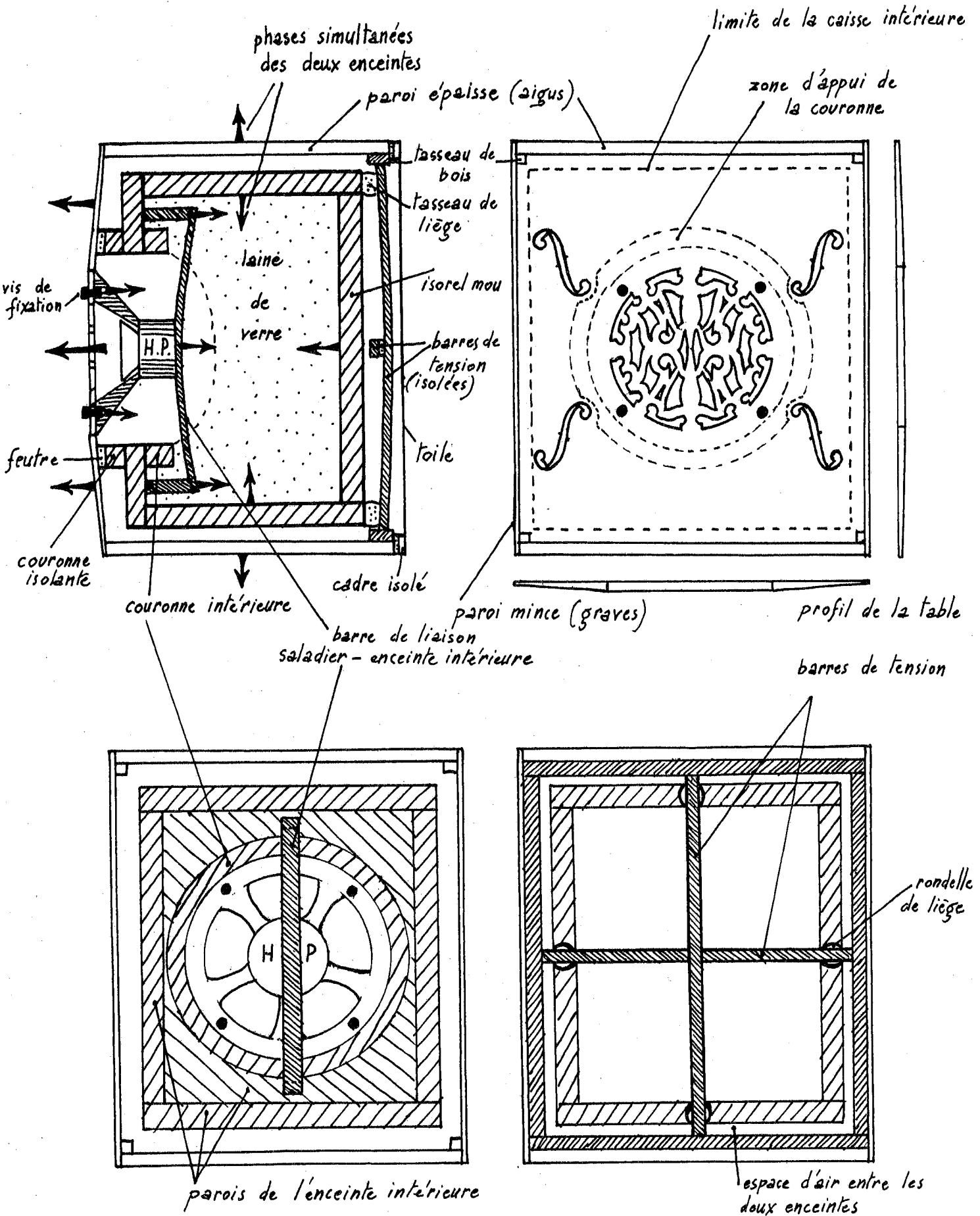
(à propos de l'écoute d'une séquence de violon sur l'enceinte MAS)
M. DUMOULIN - Il ne faut pas introduire autant de distorsion avant. On suppose que c'est irréprochable, or ça ne l'est pas.

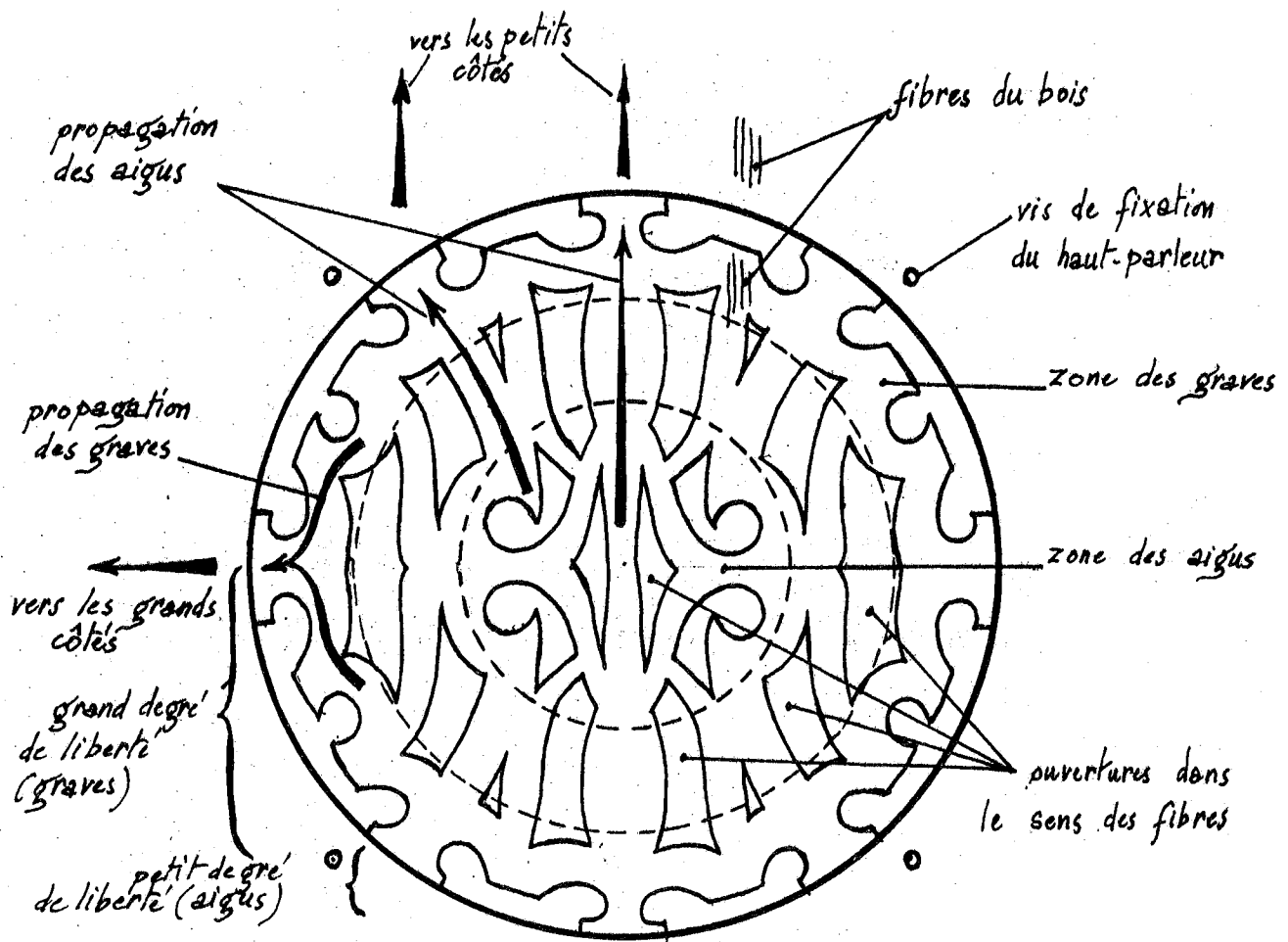
Le problème n'est pas de savoir quelle est ^{l'audition} la plus agréable, mais quelle est la plus vraie.

M. LEIPP - Vous n'avez pas entendu ce violon avant, vous n'êtes donc pas capable de porter quelque jugement que ce soit sur la "fidélité" de cette reproduction!

M. X... - Moi qui suis en face, je prendrai l'enceinte MAS sachant très bien qu'elle enjolive; je préfère cela à la fidélité!

M. LEIPP - C'est aussi mon point de vue; mais je n'oblige personne à le partager.





LA ROSACE ACOUSTIQUE

La rosace présente de nombreux degrés de Liberté favorisant toute l'étendue de l'aire audible. On retrouve ici la particularité acoustique remarquable de tous les instruments de musique à cordes!

M. Y... - Il y a dans cette enceinte instrumentale une présence que je n'ai jamais trouvée ailleurs!

M. Z... - Pour ce qui me concerne, l'audition la plus fidèle est celle que je trouve la plus agréable. Quand je sens la présence de la boîte, ça me gêne.

M. BATAISSIER - Au concert on entend de la musique vivante, naturelle. Quand on écoute de la musique en conserve, ce n'est plus du tout la même chose : les preneurs de son font ce qu'ils veulent...

M. LEIPP - Pour ce qui est des échantillons sonores que nous venons d'écouter il ne faut pas oublier que c'est un repiquage de disques : on a donc cumulé des déformations. Alors, évidemment, il ne faut pas rechercher de la haute fidélité, qui n'est pas notre sujet ici !

M. DUMOULIN - L'une des deux enceintes est plus agréable que l'autre.

M. LEIPP - C'est ça qu'il s'agit de nous dire! On aurait peut être mieux fait de prendre des disques et de mettre une platine : on aurait eu ainsi moins de distorsions. Ma question reste : si on vous offrait l'une ou l'autre enceinte, laquelle des deux prendriez-vous ?

M. X... - Tout dépend du genre d'illusion qu'on recherche. Avec le haut-parleur classique, on a l'illusion d'être dans une salle de concert. Avec l'autre haut-parleur, on a l'impression que les instruments sont dedans.

M. LELOUX - La comparaison que nous venons de faire est mauvaise; le haut-parleur de comparaison n'est pas bon. Ce qui fait que ce haut-parleur de MAS sonne bien, mais c'est quand même des distorsions que vous apportez! Ces distorsions sont aléatoires dans une certaine mesure.

M. MAS - Si l'enceinte sonne bien, c'est qu'elle différencie les timbres, les exalte !

M. LELOUX - Ça sonne bien tant qu'il n'y a qu'un baffle ! En stéréophonie, je ne peux pas avoir 2 haut-parleurs qui donnent des choses différentes; or votre enceinte vous ne pouvez la reproduire strictement pareille deux fois de suite !

M. LEIPP - Pourquoi ? Vos deux oreilles n'entendent de toutes façons pas de la même façon !

M. LELOUX - On ne peut pas faire de la stéréo avec des H.P. différents !

M. LEIPP - Pourquoi? Je vérifie le contraire tous les jours !

M. X... - On aurait dû comparer avec d'autres enceintes.

M. LEIPP - On l'a fait l'an passé avec mes étudiants du cours d'acoustique.

M. Y... - Pourquoi passer par un H.P. Pourquoi ne pas prendre un vibreur, un moteur de H.P. connecté directement à une table d'harmonie : vous seriez plus proche du fonctionnement d'un violon.

M. MAS - Le système ne serait pas assez puissant pour exciter directement la table d'harmonie.

M. CASTELLENGO - Dans les ondes Martenot, un des diffuseurs fonctionne sur ce principe : un vibreur attaque directement une caisse avec des cordes.

M. LEIPP - Il est clair que si les questions étaient simples, nous ne serions pas là ici. Il est exclu que tout le monde puisse être d'accord.

M. CARFANTAN - Les enceintes closes donnent des attaques molles, c'est maintenant admis. C'est pourquoi on revient aux bass-réflex qui malgré une certaine coloration apportent plus de netteté. Je reconnais que le système de M. MAS apporte une certaine plénitude aux sons, c'est incontestable, mais encore une fois, on compare avec un élément qui n'est pas un bon élément de référence.

M. Z... - Pourquoi faites vous tant de musique pour cette expérience. On finit par ne plus écouter que la musique !

M. A... - Il y a une coloration dans le bas-médium sur l'enceinte de M. MAS qui ne trompe absolument pas un preneur de son, et au bout d'un certain temps on se fatigue de cette présence de l'enceinte.

M. B... - Ce qui est agréable, c'est le changement de baffle. Mais tout de suite après, il y a un effet de fatigue qui intervient et c'est dû à cette coloration.

M. C... - De ma place, je ressens un effet de tonneau qu'il n'y a pas là-bas, à une autre place.

M. LEIPP - La salle joue évidemment un rôle considérable : celle-ci n'est pas bonne musicalement!

M. D... - Si on fait un prix de revient, on atteint très facilement 15 000 F pour l'enceinte de MAS et l'enceinte de comparaison doit coûter 600 F ...

M. E... - A-t-on tenu compte pour construire l'enceinte de lois géométriques ?

M. MAS - De nombreux facteurs échappent à une évaluation précise (densité, élasticité, rapport de différenciation des degrés de liberté, tensions, etc...) On ne saurait établir des rapports déterminés de dimensions, d'épaisseur, de proportions sans tenir compte de ces facteurs.

o
o o

CRITIQUE DE LA DISCUSSION - REFLEXIONS APRES LA SEANCE

On peut regretter que, malgré la présence de nombreux "professionnels", les aspects les plus importants des problèmes de la haute-fidélité n'aient pas été discutés ou même exposés. Ainsi, le fondement théorique n'a soulevé aucune critique, aucune question. Il aurait été fécond, de discuter par exemple la distinction proposée entre les sons réels et les sons reproduits et de tenter de définir une orientation des progrès techniques. Par contre, on a beaucoup insisté sur les défauts des exemples sonores comparatifs dont il fallait au contraire faire abstraction, dans la mesure du possible. Les détracteurs a priori ont eu beau jeu d'attribuer à l'enceinte instrumentale les défauts provenant des disques, des copies parfois saturées de ces disques, de l'amplification insuffisante et de la "coloration" de la salle. Manifestement le problème était ailleurs....