

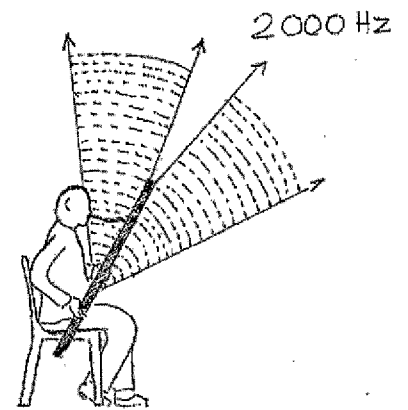
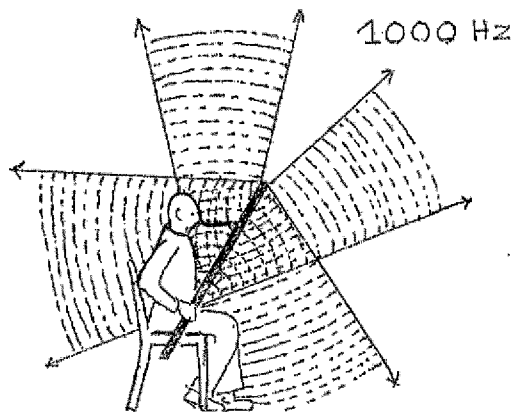
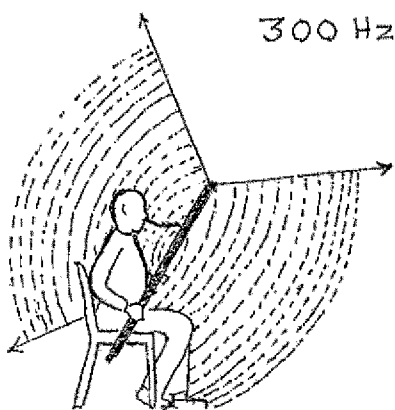
Jürgen MEYER

Présenté par E. LEIPP

* * *
*Le pouvoir directionnel des
instruments de musique*

MARS 1967

N° 27



G A M

BULLETIN DU GROUPE D'ACOUSTIQUE MUSICALE
Faculté des Sciences - 8 Rue Cuvier - PARIS 5^e

G. A. M.
Groupe d'Acoustique Musicale
Faculté des Sciences
8 Rue Cuvier PARIS 5°

PARIS, le 22 Mars 1967

Adresse Postale
9 Quai St-Bernard 5°

BULLETIN N° 27

1°) REUNION DU 10 Mars 1967

M. le Professeur SIESTRUNCK retenu par des obligations professionnelles n'a pu assister à cette séance.

M. L. GAUTHIER, Vice Doyen de la Faculté des Sciences nous a honoré de sa présence.

Etaient présents :

M. LEIPP, secrétaire général; Melle CASTELLENGO, Secrétaire

Puis par ordre d'arrivée :

Mme et M. J.S. LIENARD (Ingénieur Arts et Métiers)
MM. JAURET et NANARD (Etudiants Institut Industriel du Nord);
M. ETTLINGER (Clarinette solo Opéra TEL AVIV); M. CHENAUD (Président AFARP); Melle et M. FAYEULLE (Chef de la Musique de Scène de l'Opéra); Mme ESTOURNET (Claveciniste, musicologue); et M. ESTOURNET (violoniste); M. DEWEVRE (Rédacteur Revue du Son); Mme CHARNASSE (CNRS); M. FORET (Compositeur); M. ROBERT F.; M. CLIDI (Electronique Médicale); Dr PERROT (Docteur ès lettres); Melle RENAUDIE (violoniste); Dr. POUBLAN (Médecin biologiste); M. DUPARCO (Directeur Revue Musicale); M. CLEAVER (Tambourinaire); M. CONDA-MINES (Laboratoire d'acoustique de l'ORTF); M. DETTON (Conseiller scientifique); M. CHAVASSE (Ingénieur en Chef CNET); Melle Sylvie HUE (Conservatoire); M. BORIS (Architecte).

Excusés : M. CARCHEREUX; Dr CLAVIE; M. PUJOLLE; Mme Yvette GRIGNAUD; M. MOLES; Mme BOREL MAISONNY; M. GILOTTAUX; M. BEAUGNIER; Mme STRAUS; M. CHAILLEY; Mme de CHAMBURE; M. JOUBERT; M. BATES; M. SIER; Melle Edith WEBER; M. COCHEREAU; M. DUFOURCQ; M. FRANÇOIS; M. JUNCK; M. MAILLOT; Mme NIEKY; Dr MARCIE; Mme METTAS; M. TRAN VAN KHE; Mme Marie José CHAUVIN; M. BLONDELET; Dr. DORGEUILLE;

2°) FOIRE DE FRANCFORT : Nous avons visité la foire de Francfort, où tous les ans les fabricants d'instruments de Musique exposent leurs productions. Nous avons eu le plaisir de rendre visite à quelques exposants membres du GAM (M. BLONDELET (Ets BUFFET CRAMPON); MM. BEAUGNIER, CAPELLE, CHARPEINE, GUEN, JUNCK, MAILLOT; MALERNE (Association Française des fabricants d'instruments et d'accessoires). Cette visite nous permet de nous tenir au courant des nouveautés de la production et de prendre des contacts avec des chercheurs ou spécialistes en acoustique musicale.

3°) Tout le monde a appris avec tristesse la mort de Zoltan KODALY que nous avons eu le plaisir de recevoir au laboratoire l'an dernier

.... /

Jürgen MEYER

LE POUVOIR DIRECTIONNEL DES INSTRUMENTS DE MUSIQUE ET
SON ROLE DANS LA DISPOSITION DE L'ORCHESTRE

Présenté et commenté par E. LEIPP.

Jürgen MEYER, spécialiste en acoustique musicale au PTB de BRAUNSCHWEIG, vient de faire un séjour à notre laboratoire pour échanger des idées et se documenter sur nos méthodes et résultats. A cette occasion, il a bien voulu présenter au GAM l'essentiel de ses recherches en un domaine qu'il a tout particulièrement approfondi : celui du pouvoir directionnel des instruments de musique et de ses conséquences en musique d'ensemble.

Avant de résumer cet exposé, il est intéressant de donner quelques précisions sur les activités de Jürgen MEYER au PTB, où la physique des instruments de musique est étudiée depuis bien des années déjà.

L'acoustique musicale et instrumentale moderne, utilisant des techniques efficaces, est une science très récente. Il y a cinquante ans, l'acousticien ne disposait que de quelques moyens très sommaires comme le sonomètre à cordes et les résonateurs d'Helmholtz. Le son musical, en particulier, restait un phénomène insaisissable, évanescent, volage, impossible à décrire avec précision de façon objective. Tout cela a bien changé : l'électro-acoustique devait fournir aux chercheurs des moyens puissants et précis pour enregistrer et analyser le son. Des groupes de recherche se formèrent bientôt, dont les membres étaient le plus souvent des musiciens bien informés de la technique électronique du moment.

Dès 1931 E. MEYER et BUCHMANN publièrent à Berlin leurs résultats sur la structure spectrale des sons musicaux (DIE KLANGSPEKTREN DER MUSIKINSTRUMENTE); aux U.S.A., SEASHORE publiait en 1938 son ouvrage resté fondamental (PSYCHOLOGY of MUSIC, Mc Graw Hill, London). A cette époque un important groupe de travail existait à la Radio diffusion Allemande (Rundfunk de Berlin), qui comprenait des chercheurs illustres comme BACKHAUS, MEINEL, THIBENHAUS, GRUTZMACHER, LOTTERMOSER et autres.

Les activités de ces chercheurs cessèrent avec la guerre de 1940, mais le groupe fut reconstitué par GRUTZMACHER et LOTTERMOSER au PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT de BRAUNSCHWEIG, qui correspond approximativement à notre C.N.A.M. (Centre National des Arts et Métiers).

.../

Jürgen MEYER, Docteur Ingénieur, musicien, violoniste et occasionnellement chef d'orchestre, fait partie de cette équipe depuis une dizaine d'années. Il a publié, surtout en collaboration avec LOTTERMOSER, un certain nombre de résultats sur l'acoustique des instruments de musique, dont nous donnons plus loin la bibliographie complète à toutes fins utiles.

Le but très général de ces travaux est l'établissement d'une physique des instruments de musique, en utilisant les appareillages et méthodes classiques maintenant en acoustique expérimentale. Le pouvoir directionnel des instruments de musique est un des thèmes que Jürgen MEYER a spécialement développé ces dernières années.

On sait de quoi il s'agit. L'expérience banale montre que le son est plus intense dans l'axe d'une trompette; le timbre diffère également si on s'écarte de cet axe. On possédait bien quelques diagrammes sommaires montrant l'allure de ce phénomène; le mérite de Jürgen MEYER est d'avoir systématisé ces expériences et d'avoir tenté de faire un raccordement avec la disposition des musiciens de l'orchestre.

Avant de donner la parole à Jürgen MEYER, nous pensons indispensable de préciser les méthodes qu'il utilise et d'expliquer ses représentations graphiques.

II - METHODES ET REPRESENTATIONS GRAPHIQUES

utilisées par Jürgen MEYER

Elles se sont élaborées au PTB avec l'apparition graduelle de moyens techniques qui sont maintenant classiques et constituent le fonds commun de la plupart des laboratoires d'acoustique modernes (magnétophones, analyseurs à bande étroite et à $1/3$ d'octave, enregistreur de niveau logarithmique. De plus quelques appareils ont été spécialement construits, par exemple des dispositifs automatiques éliminant le musicien : souffleries, machines à frapper les touches etc... et sur lesquels il convient de donner quelques précisions puisqu'ils furent utilisés pour l'étude des pouvoirs directionnels.

- 1°) SYSTEMES D'EXCITATION DES INSTRUMENTS DE MUSIQUE. La première condition d'un travail de physique expérimentale est la reproductibilité des phénomènes à étudier. Or on sait bien que lors du jeu normal le musicien ne reproduit jamais deux fois de suite le même phénomène; d'où l'idée de construire des excitateurs stables pour éliminer le musicien (archets automatiques, souffleries etc...). Dès lors on peut réaliser une étude précise des phénomènes. Nous reviendrons plus loin sur les avantages et les inconvénients de cette méthode.

.... /

Fig 1a Plan du chevalet pour un violon

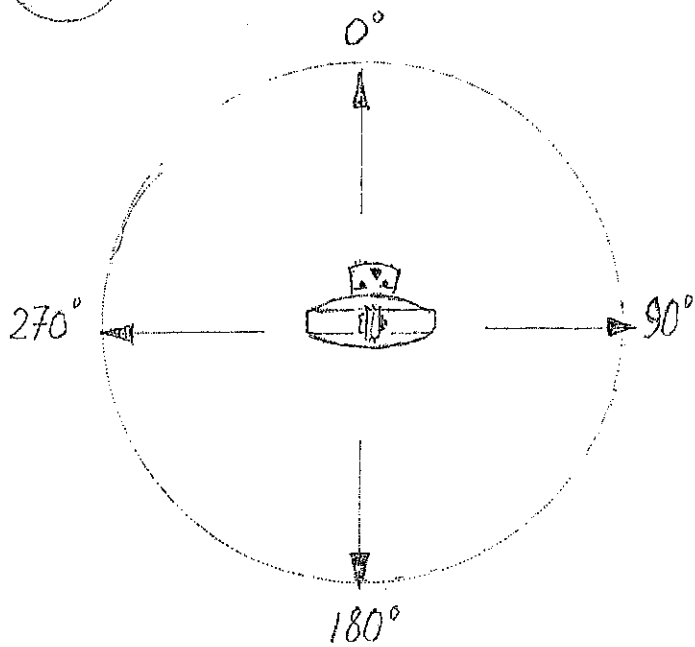


Fig 1b Plan vertical pour une clarinette.

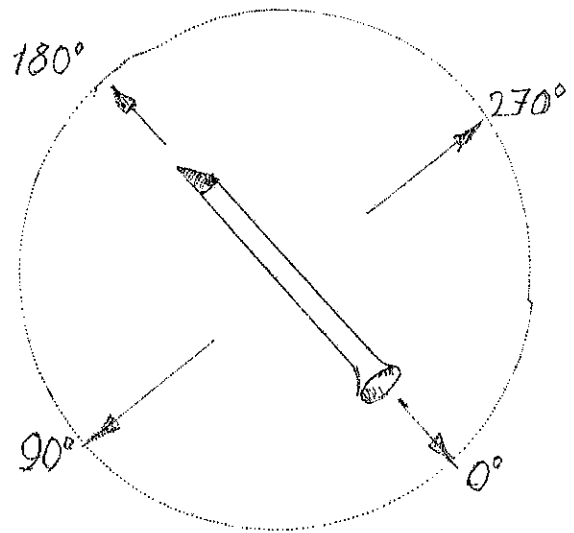
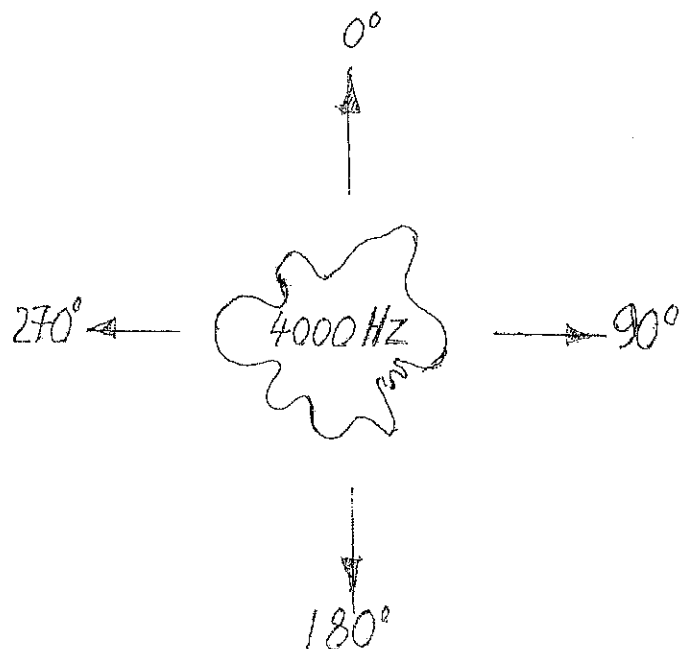
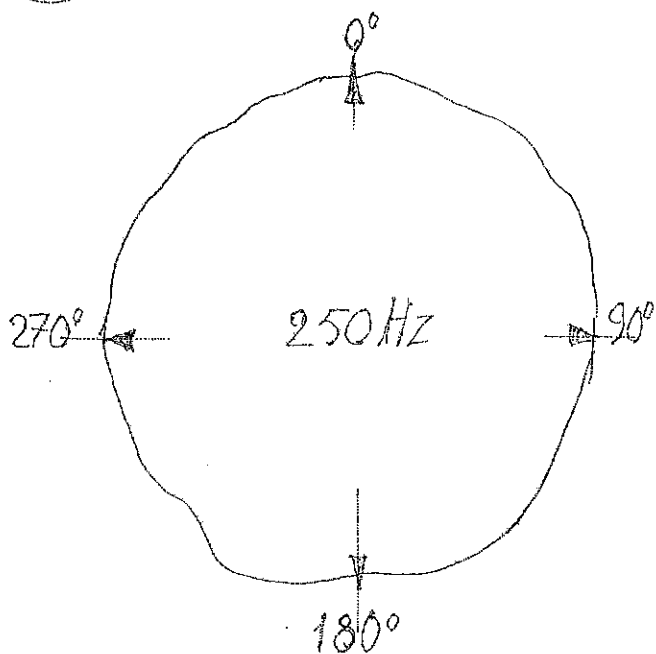


Fig 2 DIAGRAMMES POLAIRES (VIOLON - plan du chevalet)



Pour les fréquences graves le rayonnement est assez homogène. Il n'en est plus de même pour l'aigu

Voici les dispositions utilisées par Jürgen MEYER pour ses expériences.

a) Cordes. Le chevalet des violons, altos, violoncelles et contrebasses est excité par un vibreur électro-magnétique dont on pilote la fréquence avec un générateur de sons sinusoïdaux. Une aiguille fixée au vibreur est simplement mise en contact avec le côté du chevalet. Ainsi peut-on mettre l'instrument en vibration pour des fréquences " pures " discrètes. Comme il est impossible d'explorer l'intégralité du signal, on fait un choix arbitraire de fréquences discrètes, par exemple 390, 425, 500, 550, 700, 770, 1000, 1250, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000 Hz pour lesquelles on étudiera le rayonnement de l'instrument.

b) Instruments à vent (bois) : clarinette, hautbois, basson, etc... On excite l'instrument par une soufflerie dont le débit et la pression sont réglables. Un filtre électronique permet de sélectionner les fréquences que l'on veut étudier : par exemple la série précédente.

c) Piano. On utilise une " machine à frapper ", marteau dont la masse et la vitesse sont réglables à volonté ainsi que la cadence de frappe. Ainsi peut-on obtenir sur un piano, pour une certaine note, un son quasi continu. Un filtre sélectionne la fréquence de rayonnement que l'on veut étudier comme précédemment.

2°) DISPOSITION EXPERIMENTALE.

L'instrument à étudier, avec son système d'excitation, est placé sur une table tournante. On travaille en salle sourde afin d'éliminer les réflexions sur les murs et plafonds qui troubleraient les mesures.

On définit alors deux plans dans lesquels on va étudier le rayonnement. Par exemple le plan du chevalet et le plan de la barre pour un violon. Ou bien deux plans orthogonaux se coupant sur l'axe du tuyau pour une clarinette ou un basson.

Chacun de ces plans est repéré par un angle à partir d'une certaine origine. Par exemple, on choisit le plan du chevalet d'un violon (fig. 1a) et on porte l'origine des mesures angulaires (zéro degré) sur la perpendiculaire au milieu de la table du violon.

Pour le basson ou la clarinette, l'origine " zéro degré " est celle de l'axe du tube (fig. 1b) etc...

3°) LES DIAGRAMMES DIRECTIONNELS :

a) On dispose alors l'enregistreur de niveau à une distance déterminée du système instrument-excitateur et dans le plan choisi; puis on fait tourner à vitesse constante ce dispositif. L'enregistreur de niveau utilisé (BRUEL) utilise un papier spécial de forme circulaire, qui tourne à la même vitesse que le dispositif instrumental. Quand l'instrument aura fait un tour, le papier aura fait un tour également : on obtient ainsi directement et sans complications le

- diagramme polaire classique (fig.2), montrant pour la fréquence d'excitation choisie l'intensité de rayonnement aux divers angles.

b) Ces diagrammes polaires sont très parlants; mais pour en faire une synthèse globale lorsqu'on a relevé ainsi de nombreuses fréquences, il est nécessaire d'adopter une représentation différente et simplifiée.

On procède comme suit :

- On commence par transcrire un diagramme polaire donné, correspondant à une fréquence déterminée, 500 Hz par exemple en diagramme classique (abscisse horizontale) - ce que l'enregistreur permet d'ailleurs de faire directement. Le diagramme directionnel offre alors l'allure suivante (fig.3)

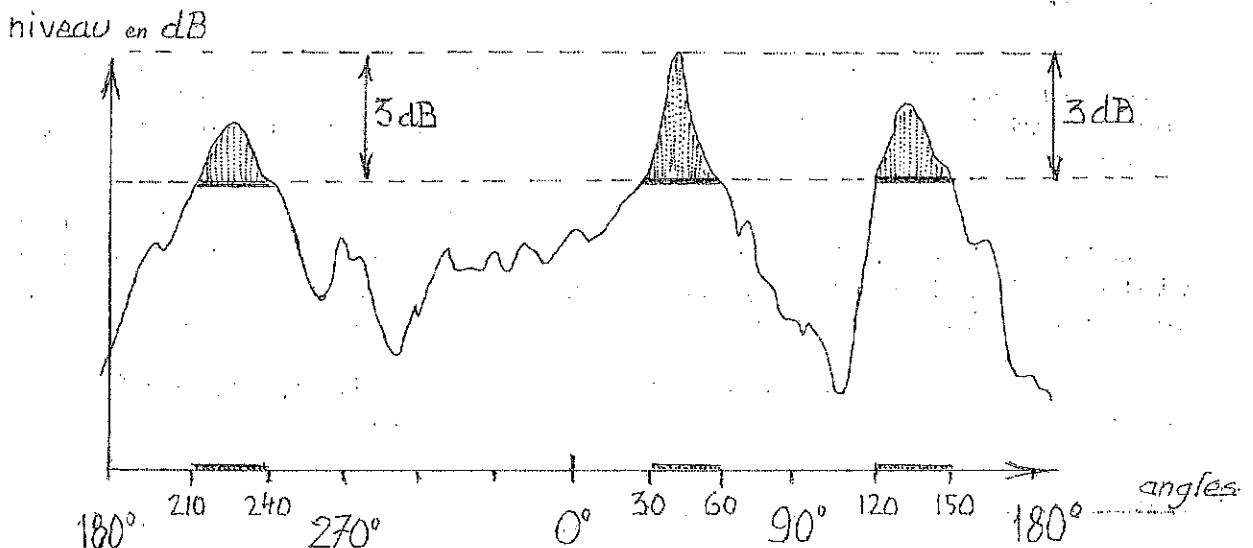


Figure 3.

En abscisse on a les angles de rayonnement, en ordonnée les niveaux.

- Pour simplifier ce diagramme on ne retient que les régions angulaires de rayonnement principal. Pour les déterminer on trace une horizontale 3dB en dessous de la pointe principale. On néglige alors tout ce qui est sous cette ligne. Dans l'exemple donné par la figure 3 les régions de rayonnement principal se situent entre 30 et 60°; 120 et 150°; 210 - 240° etc....

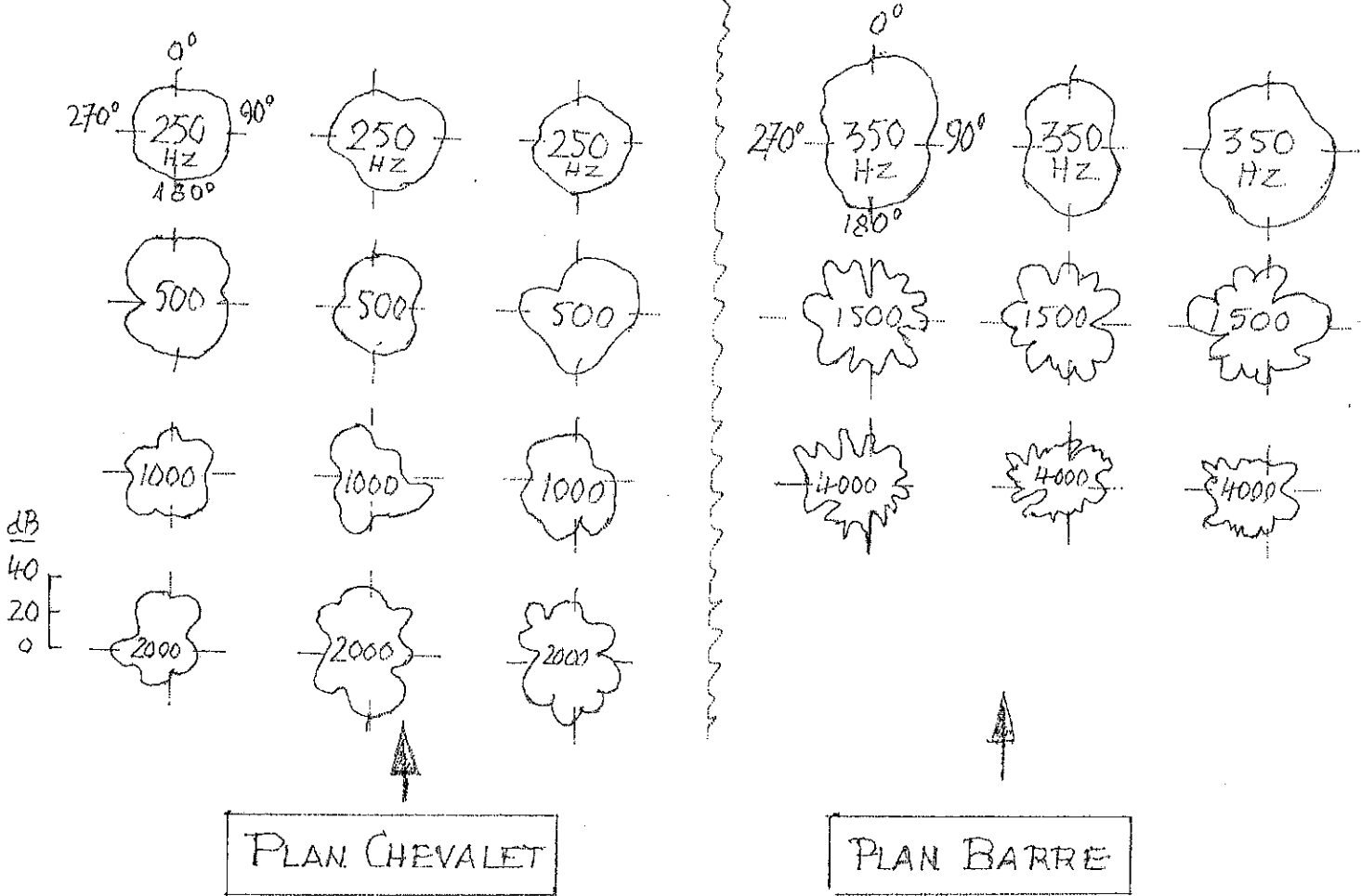
c) On sait d'autre part que d'un instrument à l'autre il existe des différences de facture, de matériaux, de structure donc de rayonnement. Pour avoir une idée statistique des zones de rayonnement principales on fait des relevés sur plusieurs instruments

.... /

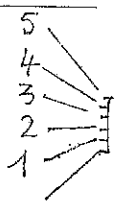
Fig 5

DIAGRAMMES POLAIRES (violoncelle)

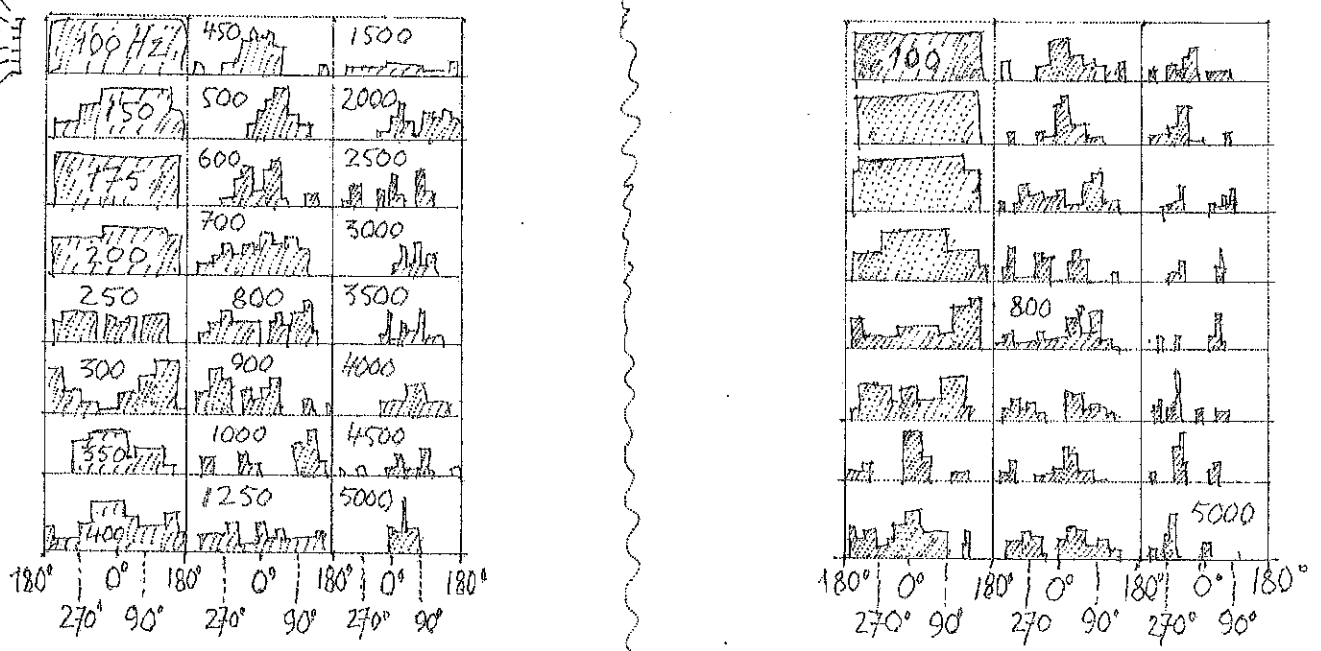
1^{er} cello 2^e cello 3^e cello 1^o cello 2^e cello 3^e cello



instruments:



DIAGRAMMES de SOMMATION



et on réalise pour chaque fréquence d'excitation choisie un diagramme de sommation comme suit :

En abscisse on a toujours les angles (fig.4);

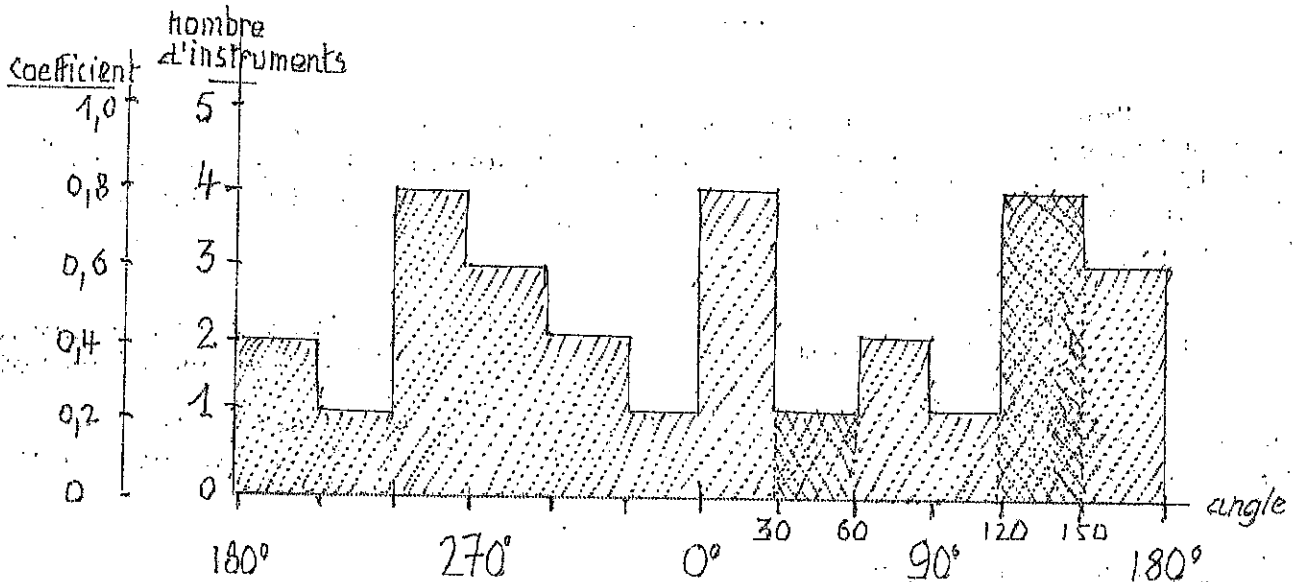


Figure 4

mais en ordonnée on porte le nombre d'instruments (par exemple 5 violons).

Si un seul instrument rayonne une pointe entre 30 et 60° par exemple, on l'indique comme il est montré sur la figure. Si par contre entre 120 et 150° quatre instruments présentent une pointe commune d'intensité, on additionne verticalement les 4 instruments. Et ainsi de suite, finalement on obtient un diagramme montrant l'allure statistique du rayonnement pour " le " violon à 500 Hz.

Il faut bien entendu autant de diagrammes de ce genre qu'on se propose d'étudier de fréquences.

On réalise alors un tableau général de tous ces diagrammes pour un instrument donné et on peut ainsi se faire une idée précise du rayonnement de l'instrument aux fréquences considérées.

A titre d'exemple nous donnons ci-contre les diagrammes relatifs au violoncelle (fig.5) : en haut les diagrammes polaires (5a) en bas les diagrammes de sommation corrélatifs (5b) pour les deux plans choisis (plan du chevalet et plan de la barre).

Jürgen MEYER a accumulé de très nombreux documents similaires sur les instruments traditionnels (violons, altos, violoncelles, contre basses à cordes, hautbois, clarinette, basson etc...). Ce qu'il nous a exposé au GAM ce sont les conséquences pratiques qu'il en tire relativement à la disposition des instruments dans l'orchestre, et que nous allons résumer maintenant.

III - L'EXPOSÉ de Jürgen MEYER

sur le rôle du pouvoir Directionnel des instruments
de musique dans la disposition des instruments de
musique

Jürgen MEYER nous montre d'abord une série de documents iconographiques représentant des orchestres depuis l'époque classique jusqu'à nos jours : orchestre dans un palais à Rome (1729), orchestre HAYDN au palais Esterhazi, orchestre français en plein air au 18^e siècle etc...

On voit que la disposition des musiciens n'était pas cristallisée : on s'arrangeait selon les lieux et les habitudes de l'endroit.

Depuis le début de ce siècle, les choses se sont plus ou moins normalisées. On peut résumer l'essentiel en trois figures (fig. 6a, b et c) :

1°) LA DISPOSITION EUROPEENNE :

Avant la guerre de 1940 à peu près tous les orchestres européens adoptaient la disposition 6a. Les premiers violons sont à gauche du chef d'orchestre le long de la rampe; les seconds violons à droite. Les violoncellistes sont en face, les altos sont placés entre les violoncellistes et les 2^e violons. Les contrebasses sont en principe au fond à droite, s'avancant parfois jusqu'à la rampe; d'autres fois elles sont disposés au fond en deux groupes de 4 au fond, à droite et à gauche; parfois elles sont simplement alignées au fond, face au chef d'orchestre.

Cette disposition offre divers avantages : en particulier le violon solo est très près du violoncelle solo, ce qui leur permet de bien se synchroniser dans les passages difficiles. D'autre part, pour l'auditeur, cette disposition réalise une espèce d'effet stéréophonique : on sépare toujours bien les voix des 1^o et 2^o violons.

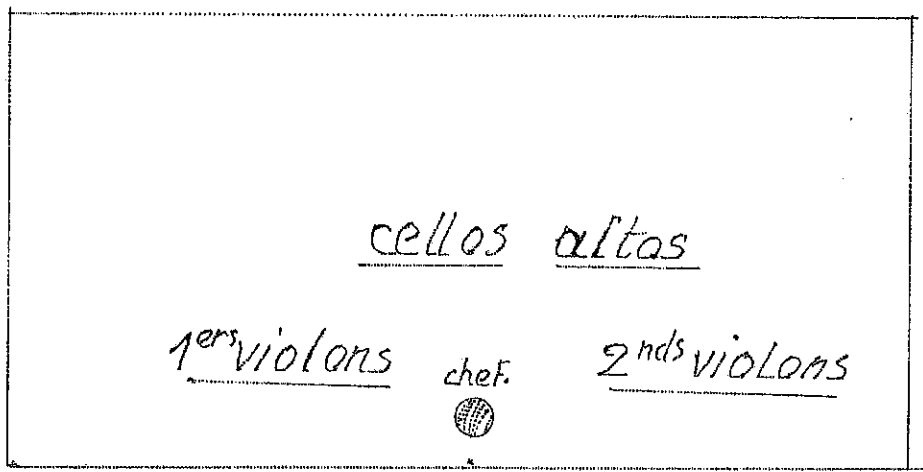
2°) LA DISPOSITION AMERICAINE : introduite autour de 1945 par STOKOWSKI et très couramment utilisée aux USA tend à se généraliser en Europe actuellement (fig. 6b).

Ici, les 1ers violons sont le long de la rampe à gauche du chef; les seconds violons sont à leur côté, puis les altos, enfin les violoncelles qui sont ainsi placés le long de la rampe à droite. Les basses sont en principe au fond à droite. Cette disposition est en fait celle du quatuor à cordes. Elle répartit les cordes en deux groupes : à gauche les aigus; à droite les graves. Les contrebasses descendent aussi parfois jusqu'à la rampe.

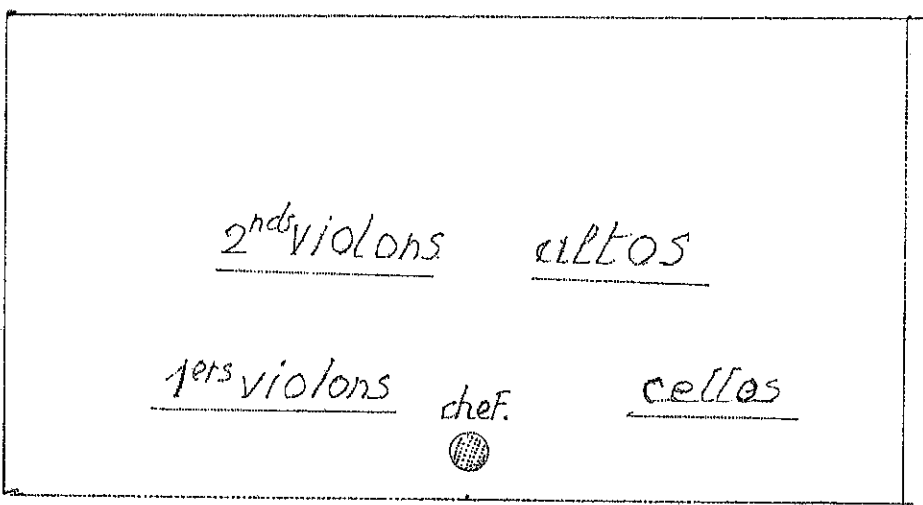
fig. 6

DISPOSITION DES MUSIENS.

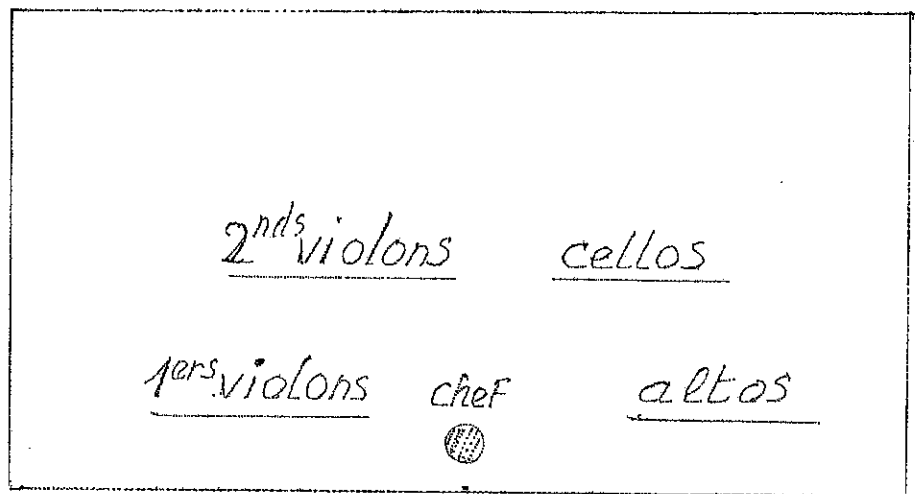
a) EUROPE
- avant 1940 -



b) U.S.A



c) FURTWÄNGLER



Chacune de ces dispositions présente des avantages et des inconvénients selon la salle et le type de musique qu'on y joue.

Le voisinage immédiat des 1ers et seconds violons est avantageux dans les passages rapides où les deux groupes ont un besoin absolu de se synchroniser, donc de s'entendre nettement. Par contre, les auditeurs placés à droite et près de l'orchestre entendent les basses trop fortes.

En Allemagne, FURTWANGLER utilise une variante (fig.6c), en intervertissant cellos et altos; ces derniers sont alors placés le long de la rampe droite. On conserve la disposition générale : aigus à gauche, graves à droite.

Puisque le rayonnement des instruments n'est pas homogène, il est évident que ces diverses dispositions aboutissent à des différences de " pâte sonore " pour l'auditeur.

Considérons le cas des violoncelles dans des diverses dispositions. Prenons d'abord le plan horizontal.

Entre 350 et 700 Hz les violoncelles ont un rayonnement plus intense dans la disposition frontale de ceux-ci (européenne); ceci détermine une sonorité grave, correspondant au formant vocal de la voyelle " o ". Entre 2000 et 5000 Hz l'instrument rayonne également beaucoup d'énergie, ce qui ajoute au timbre une grande brillance et une netteté. En d'autres termes, la sonorité du violoncelle est grandement mise en valeur dans la disposition frontale. Or dans la disposition américaine, on note une moins bonne qualité des violoncelles puisqu'ils ne sont plus orientés vers la salle, inconvénient aggravé encore quand la partition comporte des échanges thématiques entre 1^o violons et violoncelles, comme c'est le cas dans la 1^o symphonie de BRAHMS. En effet 1^o violons et violoncelles se voient et s'entendent mal dans la disposition américaine.

Si on considère le plan vertical, on observe que le plafond de la salle joue un grand rôle, puisqu'il va plus ou moins réfléchir vers l'auditeur la partie spectrale rayonnée vers le haut, selon sa forme, sa disposition et le matériau dont il est constitué. Comme le violoncelle rayonne beaucoup d'aigu vers le haut, on comprend aisément l'importance du pouvoir directionnel de cet instrument sur la sonorité globale perçue par l'auditeur.

La différence entre disposition européenne et américaine est particulièrement nette pour les violons. En effet dans la disposition européenne, le plan des tables des premiers violons est orienté vers le public puisqu'ils sont à gauche. Par contre le plan des tables des 2^o violons sont orientés vers le fond de la scène. Or on voit sur les diagrammes directionnels que les fréquences grave du violon sont rayonnées de façon à peu près homogène : la propagation se fait par quasi-sphères. Mais il n'en est pas de même pour les fréquences aiguës. Pour les 1^o violons, ces fréquences aiguës sont envoyées vers l'auditeur; pour les seconds violons elles sont plus ou moins absorbées par le mur du fond de la scène. Dans ces conditions les premiers violons ont une sonorité plus claire et pleine, alors que les seconds sonnent plus " sourd " et plus " nasillard ".

..../

Il va sans dire que ces différences de timbre peuvent être intéressantes pour les compositeurs qui désirent différencier les deux voix.

Dans la disposition américaine par contre le timbre des 1ers et seconds violons est beaucoup plus homogène et les voix se fondent mieux.

En bref, l'une ou l'autre disposition correspond mieux à telle ou telle oeuvre musicale, selon l'effet recherché par le chef d'orchestre.

Jürgen MEYER cite le cas très particulier de la Philharmonie de Berlin, où l'orchestre est placé au milieu de la salle et les auditeurs répartis tout autour. Dans ces conditions, un échange thématique produit un effet spatial opposé, selon qu'on est placé devant ou derrière l'orchestre et qui peut paraître " illogique " dans certains cas particuliers.

3*) LE PROBLEME DES CONTRE-BASSES. On les place à gauche, à droite, ou au fond; il est évident que du fait du pouvoir directionnel de ces instruments l'effet est différent. Placées à gauche elles sonnent plus clair, puisque l'instrument rayonne plus d'aigu dans la direction de l'auditeur. De toutes façons lorsqu'elles sont à droite et qu'elles enveloppent les cellos et altos, descendant jusque vers la rampe, le plan des tables n'est plus orienté vers la salle et on perd ainsi les composantes aiguës du timbre. Le résultat est alors moins bon, surtout si les côtés de la salle sont très absorbants pour l'aigu. Le son des contrebasses devient effectivement moins clair et moins net. En résumé, il semble intéressant d'orienter les tables des contrebasses au mieux vers la salle.

4*) LE PROBLEME DES ALTOS. Toujours placés à droite dans les trois dispositions précédentes ils sont orientés à peu près de la même manière. Leur cas est donc moins intéressant. L'alto, dont la table est orientée vers le fond, perd ses composantes aiguës; d'où une sonorité sombre et mate. Mais s'il existe au dessus de la scène un plafond en plan incliné vers la salle, le timbre des altos peut en être nettement éclairci.

On notera que dans certaines oeuvres ne comportant pas de violons (comme par exemple le 6° concerto Brandebourgeois) les altos sont placés à gauche, à la place normale des premiers violons; ils sonnent alors plus clair, ce qui met mieux en valeur leur partie mélodique. Dans les oeuvres pour petites formations (Sextuor à cordes de Brahms) la disposition des instruments pose chaque fois un problème particulier; on s'arrange alors au mieux, en tenant compte de la salle en particulier.

D'une façon tout à fait générale, nous n'avons considéré ici que les effets du pouvoir directionnel des sons composés de raies harmoniques à fréquences bien définies. Mais on sait bien que les

instruments à cordes produisent un certain bruit d'attaque et de frottement plus ou moins soyeux, qui caractérise le timbre des " cordes ". Jürgen MEYER a fait des expériences systématiques pour voir ce qui advient de ces bruits du point de vue de la directionnalité des instruments. Pour cela, il excite les violons, violoncelles, contrebasses avec un spectre de bruit de bande, simulant le bruit de frottement. Il a observé alors que les bruits de frottement ne sont pas rayonnés exactement selon les mêmes lois que les spectres de raies. En langage technique on dirait alors que selon la place de l'auditeur le rapport signal-bruit varie. Dans certaines directions le bruit de frottement devient proportionnellement plus intense et le caractère du timbre en est modifié.

A titre d'exemple voici la différence entre un diagramme directionnel à 1250 Hz pour un alto excité successivement par un signal sinusoïdal puis par un bruit de bande étroite (fréquence moyenne également 1250 Hz). On voit un " trou " très net dans le diagramme de fréquence pure, qui n'existe pas pour le bruit; dans cette direction, le bruit sera trop intense et la sonorité moins musicale (fig.7).

Diagramme polaire d'un alto à 1250 Hz

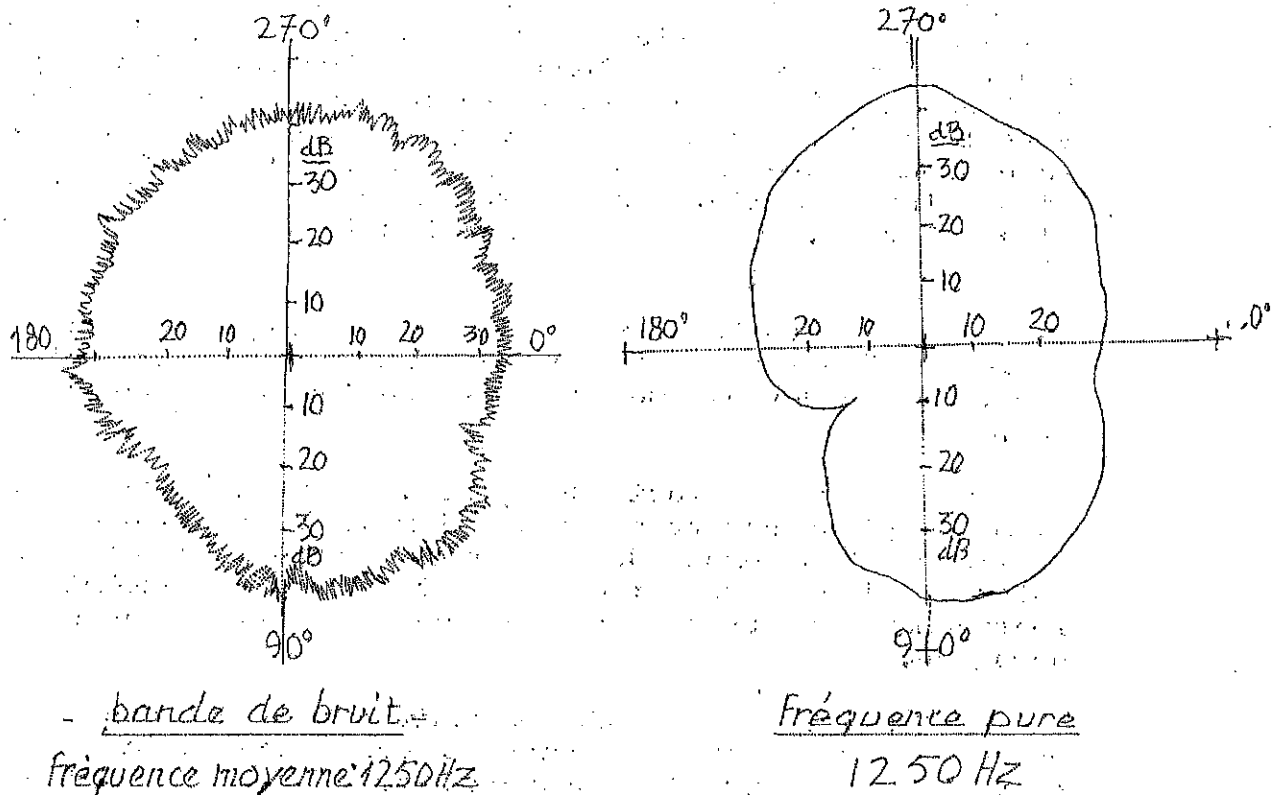


Figure 7

5°) LE PROBLEME DES " BOIS "

Les instruments à vent se rapprochent mieux de la théorie : les fréquences basses se propagent par sphères alors que les hautes fréquences sont directionnelles. Pour la plupart des instruments à tuyaux sur lesquels Jürgen MEYER a travaillé (clarinette, hautbois, basson) on peut conclure très généralement que les fréquences aiguës sont plus importantes dans l'axe du tuyau. En général, si on considère le plan vertical, chaque instrument donne des diagrammes très particuliers pour chaque type d'instruments. Il va sans dire que les trous latéraux jouent ici un rôle considérable et on ne peut pas trop simplifier le problème.

A titre d'exemple, voici le plan vertical d'un hautbois et d'un basson (fig. 8a et b) qui permettent de se faire une idée du problème.

Il est bien évident que si le rayonnement aigu est statistiquement dirigé dans le sens du tube, le hautbois rayonnera de l'aigu vers le sol. Par contre le basson rayonnera de l'aigu vers le haut; et dans ces conditions un auditeur placé en haut (galerie) peut très bien trouver que le basson a une sonorité trop claire ou trop nasillarde. Il va sans dire que le rôle du plafond est très important pour le basson, car les fréquences aiguës sont plus ou moins rabattues.

6°) LE PROBLEME DU PIANO, Les expériences qu'à faites Jürgen MEYER ont été exposées à EUROPIANO (Berlin 1966). Il s'agissait de pianos à queue, en position normale de jeu, couvercle relevé. En gros, le piano rayonne alors plus d'aigu vers l'avant; c'est précisément le rôle du couvercle réfléchissant de renvoyer de l'aigu vers la salle. Les expériences systématiques ont montré que le rayonnement devenait plus homogène lorsqu'on fermait le couvercle; si on l'entrebaille, les pointes de rayonnement de l'aigu sont plus aplaties. La figure 9 donne les trois cas relevés pour 1000, 2000 et 4000 Hz).

Si on enlève le couvercle complètement, toute la partie spectrale aiguë est rayonnée vers le plafond. Si celui-ci est absorbant, le son devient moins bon puisqu'on perd toutes ces composantes.

Dans la Philharmonie de BERLIN, citée précédemment, le problème du piano est très particulier... Aussi a-t-on essayé de réaliser un couvercle double pour favoriser également les deux côtés de l'instrument : arrière et avant. Les expériences ont effectivement montré que le champ de rayonnement devient alors plus homogène.

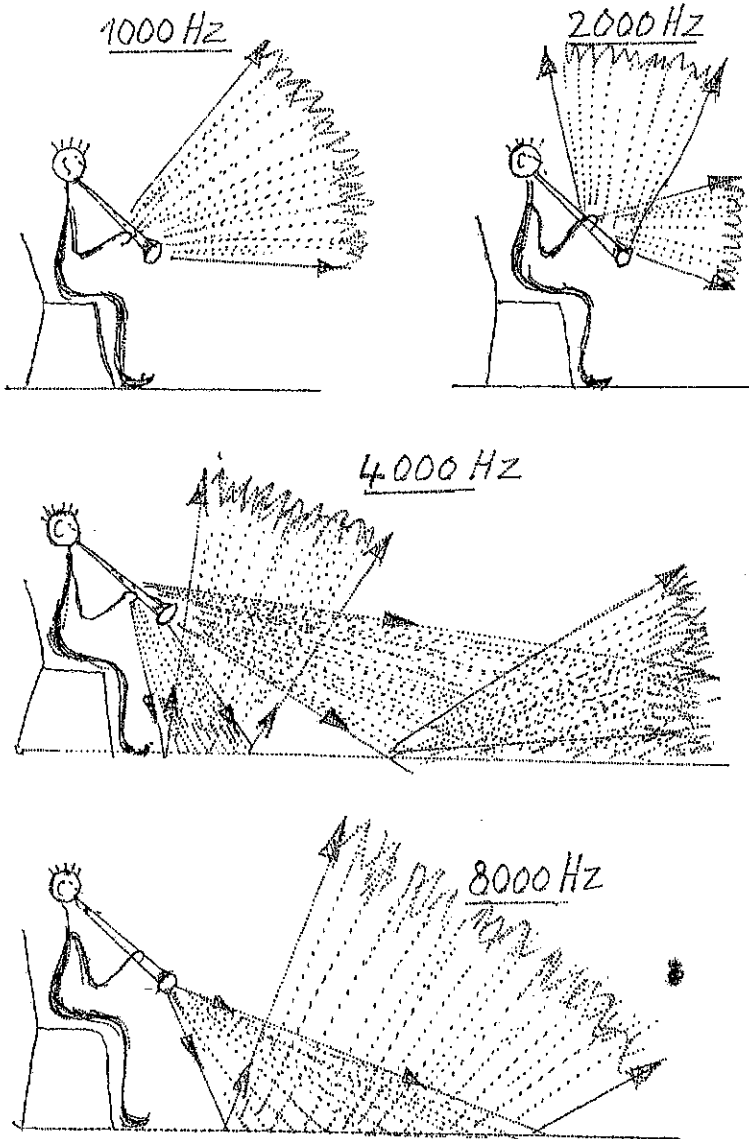
En fait, il faut toujours tenir compte de la salle, et il est toujours possible d'accrocher des panneaux rayonnants afin de compenser des pertes sonores dues au pouvoir directionnel des instruments.

...../

Fig. 8

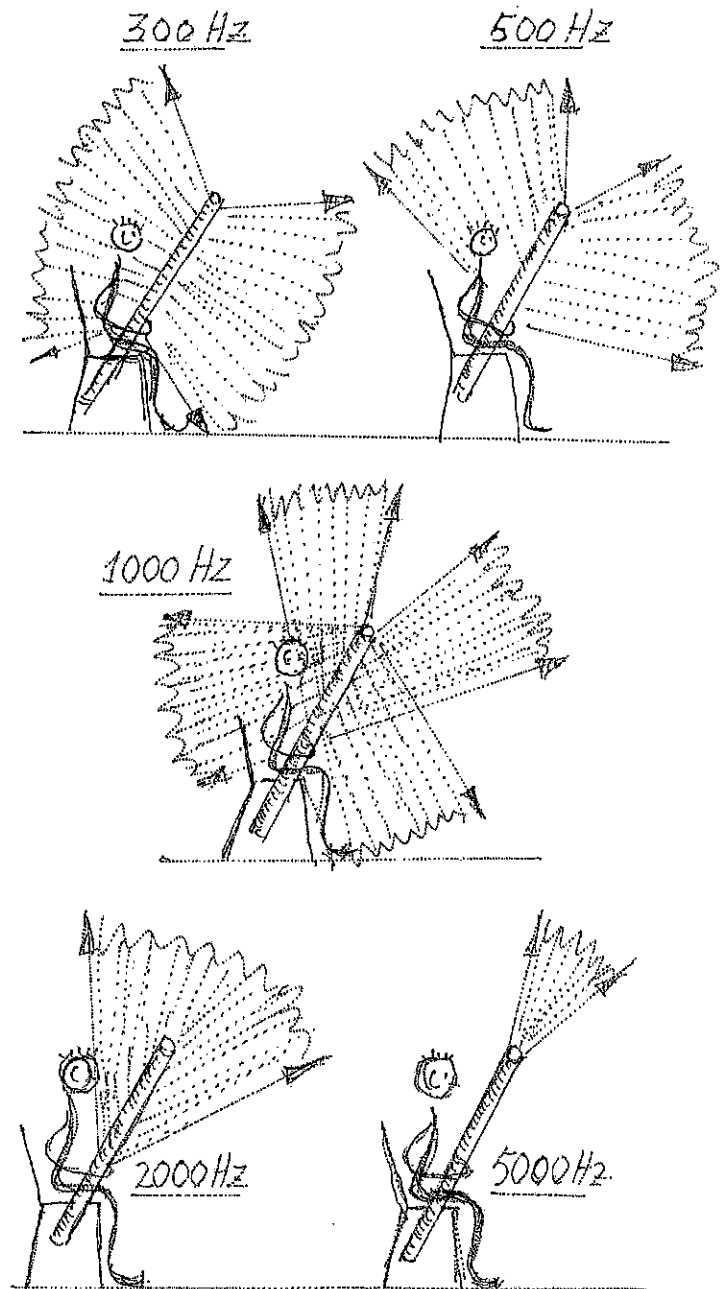
(a)

HAUTBOIS



(b)

BASSON



Cette figure montre les zones de rayonnement du hautbois et du basson pour quelques fréquences discrètes. Pour une note musicale complexe, le phénomène est extrêmement compliqué.

Fig 9

DIAGRAMME POLAIRE
de
PIANO à QUEUE
(couverture normalement relevé)

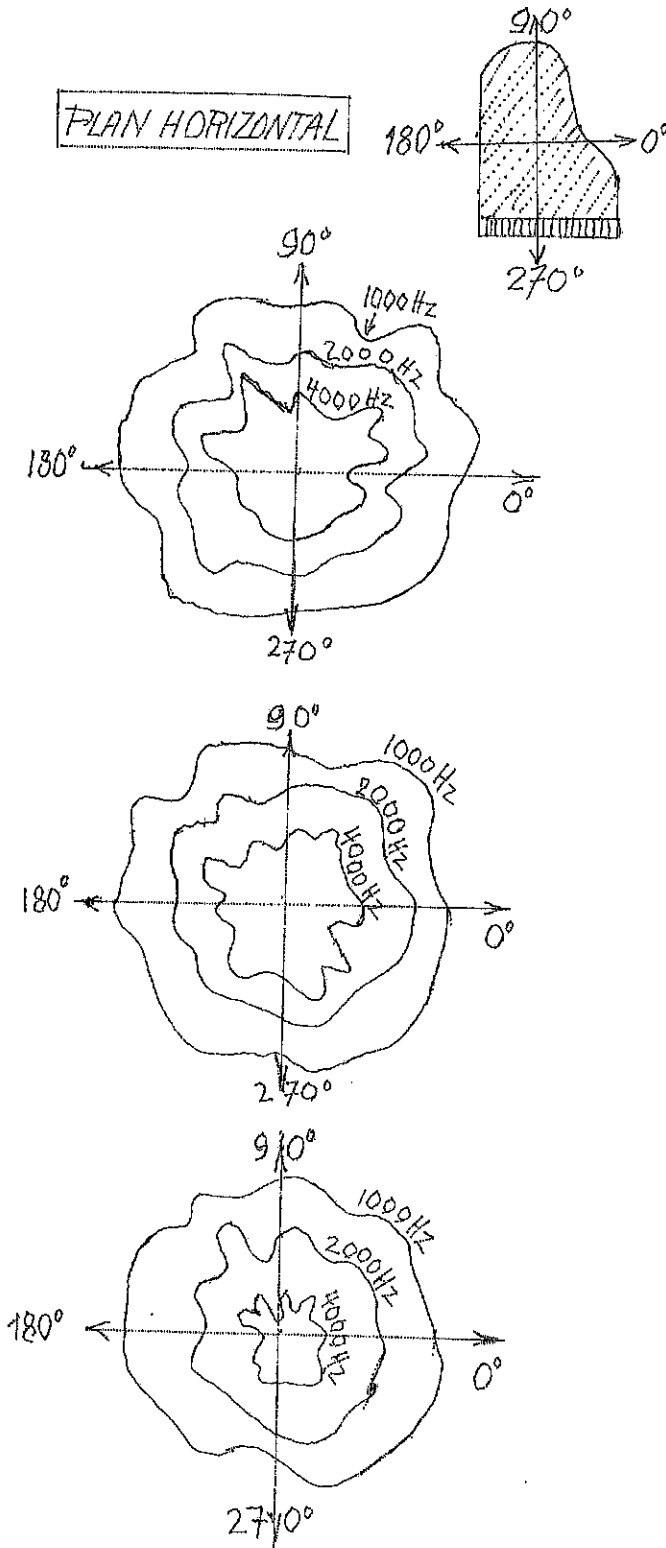


Fig 10

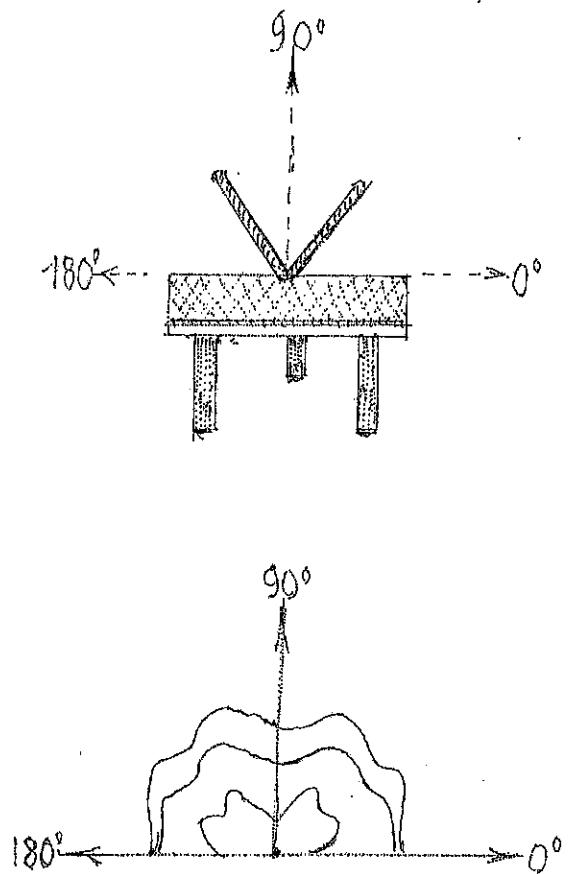


DIAGRAMME POLAIRE
(plan vertical)

avec couvercle spécial
à deux ailes symétriques. -

★

En résumé, l'exposé de Jürgen MEYER a clairement posé le problème du pouvoir directionnel des instruments de musique classiques et montré les conséquences du phénomène sur la disposition des instruments dans l'orchestre, disposition qui varie selon les époques, les endroits et les salles.

Ce problème concerne bien entendu tous les musiciens et il soulève de nombreux problèmes difficiles à résoudre.

Voici maintenant la discussion qui a suivi cet exposé. Nous y rajouterons diverses observations qui nous sont apparues à la suite de cet exposé.

IV - D I S C U S S I O N

M. LEIPP - Les précisions que vous avez apportées sur le pouvoir directionnel des instruments de musique nous intéressent vivement. C'est un point important. Mais vous avez très justement précisé qu'il faut aussi considérer d'autres variables dans la réalité orchestrale, la salle par exemple. En fait les variables en cause dans la perception globale d'une oeuvre musicale sont nombreuses et le chef d'orchestre doit trouver une solution optimum à un ensemble compliqué de problèmes. Finalement il occupe une place très particulière et il n'entend pas la même chose que l'auditeur qui est dans la salle et qu'il doit satisfaire.

J. MEYER - Oui. L'expérience du chef d'orchestre est irremplaçable en raison précisément de la complexité des problèmes à trancher. Un chef d'orchestre célèbre disait : " la meilleure disposition des musiciens de l'orchestre est celle où chacun est à côté de son meilleur ami "

M. LEIPP - Ce " détail " est certainement très important : le problème humain importe souvent plus que le problème physique. Un musicien ne joue bien que s'il est à l'aide et s'il entend ses collègues avec lesquels il est amené à " converser " en musique.

M. CHAVASSE - Etant donné le rôle que vous attribuez au plafond, que faut-il penser des exécutions orchestrales dans les théâtres antiques qui n'ont pas de toit....

M. LEIPP - Le plafond semble surtout jouer un rôle néfaste; le supprimer, c'est supprimer le problème..... Mais M. ETTLINGER qui est clarinette solo à l'OPERA de TEL AVIV et qui a joué à EPIDAURE pourrait certainement nous dire ce qu'il en pense.....

M. ETTLINGER - Oui, dans les théâtre antiques l'oreille du musicien est désorientée, car elle ne perçoit plus la réverbération qui est habituelle dans une salle normale et qui ajoute à l'intensité du son pour le musicien. On a le sentiment que l'instrument ne " sonne " plus; d'autre part on entend mal les collègues éloignés...../

gné. La musique est assez nette, sèche même, mais en fait on ne se sent pas à l'aise et il est certain que la qualité du jeu en souffre plus ou moins.

M. LEIPP - C'est évident : si vous vous entendez mal, si les sons semblent faibles, vous cherchez instinctivement à forcer votre jeu; mais alors le timbre de l'instrument se modifie et la justesse peut en être altérée.

Pour ce qui est de la netteté de la musique, il est utile de préciser qu'une trop grande netteté n'est esthétiquement pas désirable. Un peu de réverbération arrange bien des choses, dissimule des petites imperfections d'exécution, augmente sensiblement la sensation de puissance que l'on éprouve en jouant dans une salle sonore (vieux instinct auquel tout le monde reste sensible). La réverbération ajoute précisément ce " flou artistique " cette " enveloppe " également recherchée par les photographes portraitistes qui utilisent à cet effet des objectifs spéciaux à aberrations résiduelles : ils savent bien qu'ils ne peuvent satisfaire leurs clients avec une netteté apochromatique qui met en relief surtout les défauts du modèle....

M. ESTOURNET - La netteté des violons à l'orchestre dépend de la discipline d'archet des violonistes; avec une discipline trop stricte le découpage de la musique ne devient-il justement pas trop net ?

M. LEIPP - C'est possible, surtout si la salle est trop sèche. Peut-être peut-on plus ou moins corriger l'effet d'ensemble par la disposition de l'orchestre.

M. DUPARCO - Vous avez montré une gravure avec un claveciniste dans l'orchestre; le claveciniste était alors chef d'orchestre et il disposait les musiciens au mieux pour les voir tous; ce souci devait venir avant le souci du rayonnement acoustique.

J. MEYER - Bien sûr le clavecin n'était pas toujours bien orienté acoustiquement dans ces conditions. Mais je signale que dans ce cas on plaçait souvent un deuxième clavecin au fond et à gauche pour compenser la perte d'intensité du premier.

M. LEIPP - On conclut de tout cela que le pouvoir directionnel des instruments est une variable importante dans la " pâte sonore " d'un orchestre, et dont les compositeurs et les chefs d'orchestre tiennent souvent implicitement et intuitivement compte. D'autres variables ont fait l'objet de travaux très poussés, comme par exemple l'acoustique des salles; le mérite de Jürgen MEYER était d'avoir fait une étude systématique ^{du pouvoir directionnel} et de nous avoir apporté des résultats précis que l'on chercherait en vain ailleurs.

NB. - M. FAYELLE, Chef de la Fanfare à l'OPERA DE PARIS pris par ses obligations professionnelles n'a pas pu rester jusqu'à la fin de la discussion. Il nous avait cependant signalé que le problème du pouvoir directionnel concernait tout particulièrement la fanfare de l'Opéra qui est souvent placée devant des problèmes très difficiles. De ce point de vue, M. FAYELLE nous a invité à visiter une collection d'instruments créés spécialement pour les besoins de la fanfare de scène de l'OPERA de PARIS par Adolphe SAX, le père du saxophone. Un certain nombre d'essais (saxophones, saxhorns) comportent des pavillons orientables, ce qui montre que SAX était très conscient du problème de la directionnalité des cuivres à pavillons. Cette collection doit prochainement rejoindre le Musée Instrumental du Conservatoire, 14 Rue de Madrid.

V - CE QUE NOUS EN PENSONS AU LABORATOIRE :

Quoique nous n'ayons pas fait de recherches suivies sur le problème de la directionnalité des instruments de musique, nous l'avons cependant abordé de nombreuses fois à l'occasion de travaux effectués sur certains instruments, clarinette en particulier.

Le séjour de Jürgen MEYER au laboratoire a été l'occasion pour nous de confronter sur ce point nos idées et nos méthodes, qui sont fort différentes, voire complémentaires.

Le souci de Jürgen MEYER est d'abord un souci de physicien reproductibilité des expériences, précision des mesures. C'est ce qui conduit Jürgen MEYER à utiliser des dispositifs d'excitation mécaniques des instruments pour ses expériences et à faire des analyses très fines en chambre sourde. Mais on se trouve finalement devant un grand nombre de documents très précis dont il n'est pas facile de faire une synthèse et qu'on ne peut pas toujours raccorder aisément à la réalité parce que les mesures sont faites en chambre sourde.

Notre approche des problèmes est très différente. Notre souci essentiel est moins de rechercher la précision que l'allure des phénomènes pour le récepteur normal de la musique : l'homme. En acoustique musicale, la précision est souvent illusoire. Un son obtenu par une clarinette excitée par une soufflerie est évidemment stable et facile à étudier, mais il n'a plus que des rapports très lointains avec la même note sortant d'une clarinette en jeu normal. En effet, le musicien modifie continuellement les conditions d'excitation et produit ainsi des spectres qui ne sont jamais les mêmes, pour une note donnée, mais ceci renouvelle continuellement l'intérêt de l'auditeur pour cette même note ! Autrement dit, par essence, un son musical est continuellement variable dans sa forme tridimensionnelle, et de ce fait même il devient acoustiquement difficile à définir par les méthodes classiques. Par exemple, il est impossible de parler " spectre de la clarinette " et de vouloir le définir par un rapport d'intensité entre ses harmoniques

Une clarinette ne " donne pas des spectres à harmoniques impairs prédominants ". L'expérience montre que pour certaines notes le fondamental est presque inexistant; d'autres fois les harmoniques pairs sont au moins aussi intenses que les impairs; le musicien règle tout cela à son gré dans une large mesure. La seule chose qui soit caractéristique, c'est une allure générale statistique des spectres, différente selon les registres, mais très particulière à cet instrument.

D'autre part, lorsqu'il existe des différences physiques entre deux signaux, il n'est pas évident à priori qu'elles aient une importance pratique car nos appareils de physique n'"entendent pas comme notre oreille. Le problème pour nous est toujours, en définitive : " qu'en pense l'oreille ".

Enfin, un signal acoustique est facile à définir avec précision en chambre sourde; mais le même signal est totalement anamorphosé dans une salle, et de façon très variable selon la place considérée.

Malgré ces complications, nous préférons étudier les phénomènes tels qu'ils sont dans la réalité : l'instrument est joué par un musicien, dans une salle normale ou connue. Ceci nous conduit à utiliser des méthodes d'analyse moins précises, mais qui rendent mieux compte du phénomène réel. Nous gagnons ainsi en signification ce que nous perdons en précision.

Pour les mêmes raisons, plutôt que d'étudier le rayonnement sur deux plans arbitraires nous préférons étudier le rayonnement dans les régions où se trouve l'oreille de l'auditeur dans la salle.

Enfin il faut préciser que l'excitation artificielle d'un instrument présente divers inconvénients; entre autres il est évident que la présence d'un homme près de l'instrument modifie considérablement les caractéristiques directionnelles, tant en intensité qu'en timbre.

Toutes ces considérations nous ont conduit à utiliser pour nos travaux sur le rayonnement des instruments de musique une méthode très différente de celle de Jürgen MEYER.

Nous demandons au musicien de jouer une note donnée dans une salle normale donnée, dont nous connaissons les caractéristiques. Un ou plusieurs magnétophones sont disposés en divers points où se trouvent normalement les auditeurs. Le musicien fait lentement un tour sur lui-même. On relève ainsi un certain nombre de notes. On tire le sonagramme qui donne à chaque instant, ou pour chaque orientation du musicien, une image intégrale des modifications du signal acoustique. Nous avons fait de tels essais à l'OPERA de PARIS

- les sonagrammes réalisés permettent de voir que le spectre varie énormément selon l'orientation de l'instrument : tel harmonique est intense à tel angle de rayonnement, un peu plus loin il disparaît alors qu'un autre émerge etc... En bref, on a

sur un seul document une vue d'ensemble de l'intégralité du phénomène.

- Si on veut de la précision, on peut toujours extraire le spectre classique (en dB/Hz) en 300 points différents du sonagramme. Mais en général, l'observation du sonagramme suffit pour comprendre ce qui se passe auditivement.

- Accessoirement, on peut tirer si utile la courbe de niveau classique qui donne tous renseignements sur l'évolution de l'intensité avec la direction de l'instrument.

Cette méthode est expéditive et tient implicitement compte de toutes les variables, salle et jeu normal. Les résultats n'ont pas la belle " pureté " des diagrammes directionnels obtenus en chambre sourde, mais ils montrent ce que l'auditeur entend en un point donné et on peut en tirer de nombreuses conclusions pratiques quant à l'anamorphose des " êtres sonores " entre le point de leur production et le point de leur perception. En effet nous plaçons systématiquement à côté du musicien un magnétophone qui relève le son direct le plus près possible de la source, ce qui élimine au mieux l'influence de la salle. Par différence avec les documents relevés à la place normale de l'auditeur, on lit assez facilement l'effet global des changements de direction du musicien.

Nous donnons ci-contre en hors texte un exemple relatif à la clarinette qui permettra de se faire une idée du problème. Le pouvoir directionnel est bien entendu inclus dans la variation d'ensemble du signal avec l'angle, mais il est difficile de l'isoler. Et pour peu que le musicien modifie volontairement le timbre de la note qu'il émet, ou change d'orientation dans le plan vertical voilà que tout est à recommencer !

En conclusion, le rayonnement d'un instrument de musique n'est pas homogène et il était important de l'étudier à l'état le plus " pur " possible. Mais les effets réels du changement d'orientation en jeu normal et dans une salle sont extrêmement compliqués. Ainsi le spécialiste en acoustique musicale est-il constamment placé devant de cruels dilemmes ; Faut-il rechercher de la précision ? Dans ce cas il lui faut raisonner en physicien ce qui conduit à simplifier les problèmes au départ si l'on ne veut pas s'y noyer ; mais on risque alors de faire perdre au problème sa signification. BOUASSE pensait déjà que dans le domaine des instruments de musique il était vain de vouloir chercher autre chose que l'allure des phénomènes. Nous voyons tous les jours qu'il raisonnait juste. Plus nous avançons en ce domaine, plus nous constatons que l'acoustique musicale, science exacte, ne peut être une science précise ; il serait peut être plus juste de dire qu'elle est un art qui se doit d'user, mais avec discernement, des moyens extraordinaires que la science met à sa disposition.

Paris, le 20 Mars 1967

E. LEIPP.

B I B L I O G R A P H I E

Liste des principales publications de Jürgen MEYER .

Divers articles sur l'orgue et les instruments à vent, parus séparément dans des revues spécialisées ont été regroupés en deux ouvrages parus récemment. Ce sont:

W. LOTTERMOSE et J. MEYER Orgelakustik in Einzeldarstellung.
Ed. DAS MUSIKINSTRUMENT (1966) Francfort.

J. MEYER . Akustik der Holzblasinstrumente in Einzeldarstellungen.
Ed. DAS MUSIKINSTRUMENT (1966) Francfort.

Voici d'autre part, quelques publications intéressantes.

- 1°) W. LOTTERMOSE et J. MEYER : Akustische Prüfung der Klangqualität von Geigen . Instrumentenbau Zeitschrift 12 (1958) p.42
- 2°) W. LOTTERMOSE et J. MEYER : Resonanzen von Geigendecken und -böden.
Instrumentenbau Zeitschrift 13(1959) p.185
- 3°) W. LOTTERMOSE et J. MEYER : Impulsmethode zur Messung von Geigenresonanzen
Gravesaner Blätter V (1960) p.106
- 4°) W. LOTTERMOSE et J. MEYER : Frequenzmessungen an gesungenen Akkorden.
Acustica 10 (1960) p.181
- 5°) W. LOTTERMOSE et J. MEYER : Über das Anstrichgeräusch bei Geigen.
Instrumentenbau Zeitschrift 15 (1961) p.382
- 6°) J. MEYER et W. LOTTERMOSE : Über die Möglichkeiten einer klanglichen
Beurteilung von Flügeln.
Acustica (1961) p. 291
- 7°) W. LOTTERMOSE et J. MEYER : Resonanzmessungen beim Bau neuer Geigen
Instrumentenbau Zeitschrift 17 (1962) p.49
- 8°) J. MEYER : Die Richtcharakteristiken von Geigen
Instrumentenbau Zeitschrift 18 (1964) p. 275
- 9°) J. MEYER : Geräuschanteile im Klangspektrum der Musikinstrumente
Das MUSIKINSTRUMENT 13 (1964) p. 685

- 10°) J . MEYER : Die Richtcharakteristiken von Klarinetten
DAS MUSIKINSTRUMENT 14 (1965) p.21
- 11°) J . MEYER : Die Richtcharakteristiken vom Violoncelli
INSTRUMENTENBAU ZEITSCHRIFT 19 (1965) p. 281
- 12°) J . MEYER : Die Richtcharakteristik des Flügels
DAS MUSIKINSTRUMENT 14 (1965) p. 1085 .
- 13°) J . MEYER : Der Klang des Heckelphons
INSTRUMENTENBAU ZEITSCHRIFT 20 (1966) p.197
- 14°) J . MEYER : Die Richtcharakteristiken von Oboen und Fagotten
DAS MUSIKINSTRUMENT 15 (1966) p.958
- 15°) J . MEYER : Akustische Untersuchungen über den Klang des Hornes
DAS MUSIKINSTRUMENT 16 (1967) p. 32
- 16°) J . MEYER : Die Richtcharakteristiken von Bratschen und Kontrabässen
INSTRUMENTENBAU ZEITSCHRIFT 21 (1967) p.3

Comme le montre cette liste -non exhaustive - l'essentiel des activités du PTB en acoustique musicale est centré autour de thèmes bien définis:

-Établissement de méthodes de mesure pour obtenir des documents objectifs sur le rendement acoustique des instruments de musique.

-acoustique de l'orgue

-acoustique des instruments à vent traditionnels

-acoustique du violon

-pouvoir directionnel des instruments.

Ces centres d'intérêt nous sont communs; mais le dernier point n'a jamais été étudié systématiquement avant les recherches de Jürgen MEYER. La bibliographie ci-dessus permettra à ceux que le problème de la directionnalité des instruments de musique intéresse plus particulièrement de se documenter à la source.
