

# E. LEIPP

## STÉRÉOSCOPIE ET STÉRÉOPHONIE

UNE MÉTHODE D'APPROCHE OBJECTIVE DU PROBLÈME DE

# L'AUDITION STÉRÉOPHONIQUE



N° 62

# GAM

BULLETIN DU GROUPE d'ACOUSTIQUE MUSICALE  
UNIVERSITÉ PARIS 6 . TOUR 66 . 2 PLACE JUSSIEU . PARIS 5'

PARIS, le 30 Juin 1972

62ème Réunion du G.A.M.

STEREOSCOPIE et STEREOPHONIE

Une méthode d'approche objective de l'audition  
stéréophonique

M. le Professeur SIESTRUNCK et M. le Président GAUTHIER, pris par des obligations universitaires n'ont pu être des nôtres.

Etaient Présents :

M. LEIPP, Secrétaire Général; Mlle CASTELLENGO, secrétaire,  
puis par ordre d'arrivée :

M. BESNAINOU (Electronicien, Facteur d'Instruments); M. SAIEB (Musicien); M. CEEN (Musicien Modulateur, R.T.B.); M. GENET-VARCIN (Ingénieur); M. J.CI.TROTIER; M. LEOTHAUD (Assistant, Inst. de Musicologie); M. BARBAT (I.C.E.T.); M. JOSSERAND (Groupe E.B.M. Toulouse); M. FORET (Compositeur); M. DUPREY (Architecte); M. MULLE-TIN (Laboratoire des Struct. Biol.); M. AURENGO (Etud.Médecin); M. LELOUX (Preneur de son R.T.B.); M. GROS (Prof. Education Mus.); M. KOPFF (C.E.B.T.P.); M. PERROT (Dr en Médecine); M. LARACINE (ORTF, Meudon); M. JOLIVET (Chargé de T.P.); M. LANGEVIN (Assistant); M. KORN (U.L.B. Bruxelles); M. CONDAMINE (Labo Acoustique ORTF); M. LEGROS (Ingénieur); M. J. HACHE (Ingénieur); M. BATAISSIER (Secrétaire Techn. SIERE); M. POUBLAN (Médecin Biologiste); M. GATIGNOL (Maître Assistant); M. J.S. LIENARD (Maître-Assistant); M. MOUSSEAU (R.C.A.); Mlle DINVILLE (Orthophoniste); M. LEGUY (Acousticien, cornettiste); M. TRAN VAN KHE (Maître de Rech. CNRS); M. CHENG SHUI CHENG (CNRS); M. CARAY (Univ. Paris VI); Mlle de CREVOISIER (Orthophoniste); M. BIERBACH (Etud. Musicologie); Mme BOREL-MAISONNY (Orthophoniste); Mme KADRI-MAISONNY (Dr en Médecine); Mme NYEKI (Phonothèque Natio); M. TESTEMALE (Informaticien); M. POULETEAU (Compositeur); M. et Mme EQOY (Prof.Educ. Musicale); M. F. LEGROS (Etu-diant); Mlle CHIRON (Institutrice); Mlle COLIN; M. SIMANE; M. GILOTAUX (Pathé Marconi); M. Flavio SILVA; M. AROM; M. GRAVRAND (Studios Barclay); M. DEMARS (Statisticien); M. GEAY (Compositeur); M. FREDERICH; M. SURUGUE (Lab. ORTOM); M. J.J. BERNARD (Maître de Conférences); Mme CHARNASSE (Musicologue, CNRS); Mlle CARRIER; M. CHENAUD (Président de l'AFARP).

Excusés : M. MAILLOT; M. BLONDELET; M. JUNCK; M. MOLES; M. DORGEUILLE; Mlle NOUF-FLARD; Mme CHAUVIN; M. J. TALAMON; M. BAERD; Mlle WEBER; M. et Mme BUSNEL; M. CLEAVER; M. D. CHAILLEY; M. RIBEYRE; M. VALLANCIEN; M. FRANCOIS; M. FRENKIEL; M. SELMER; M. J. CHAILLEY; Mlle LECOINTRE; Mlle SOLA; M. P. ANSELM; M. PERIN; Mme HAIK VANTOURA; M. FAYEULLE; Mlle GRESY AVELINE; Mme OTTIE; M. PUJOLLE; Mme de CHAMBURE; M. J.M. LONDEIX; M. CHANUT; M. VIVIE; Mme VERZENI; M. BOURDIAU; M. GEUENS; M. DEWEVRE.

---

PERIODIQUE : 6 numéros annuels.

Imprimeur : Laboratoire de Mécanique de l'Université de PARIS VI

Nom du Directeur : M. le Professeur SIESTRUNCK

N° d'Inscription à la Commission Paritaire : N° 46 283.

L'AUDITION STEREOPHONIQUE

quelques aspects nouveaux.

I. INTRODUCTION

Le monde extérieur nous envoie des messages variés, supportés par des phénomènes physiques. Nous captions ces messages avec nos organes des sens, nous les stockons sous forme codée et les traitons grâce à l'existence, dans notre cerveau, d'un centre de traitement informatique particulier.

Les messages les plus utiles pour la vie et la survie de l'homme sont manifestement les messages acoustiques et optiques, et pour les appréhender, la nature nous a dotés de capteurs disposés par paires très près du centre de traitement, pour des raisons d'efficacité et de rapidité d'acheminement des messages. Du fait que les deux capteurs (acoustiques ou optiques) sont disposés en deux points différents de l'espace, ils ne captent évidemment pas strictement le même message. Mais les deux informations parallèles (visuelles ou auditives) fusionnent en une sensation unique; et on aboutit finalement à une sensation particulière de relief, de profondeur, de situation etc..., la "sensation stéréo", que l'on ne pourrait avoir avec un capteur unique.

Les problèmes de la perception stéréoscopique ont été étudiés depuis fort longtemps, contrairement à ceux de la perception stéréophonique, dont on ne s'est occupé que beaucoup plus récemment.

Au début de ce siècle, autour des années 1900, la stéréophotographie et la stéréoscopie étaient fort à la mode. Lorsqu'on se rencontrait dans la Belle Epoque, on se disait : " Vous ne faites pas de stéréoscopie ? Vous retardez ! ". Or il a fallu attendre l'après-guerre de 1940 pour que l'on se dise : "Vous ne faites pas de stéréophonie ? Vous retardez ! ". En fait, les développements réels de la stéréophonie sous leur aspect commercial datent de moins de deux décennies.

Depuis cependant, de nombreuses études ont été faites sur ces questions, en particulier par les techniciens du son, de la gravure des disques etc... qui se sont essentiellement souciés de mettre au point des appareillages et des méthodes d'enregistrement à deux ou plusieurs canaux. Il faut avouer que la technologie nous a comblé : actuellement on fait tout ce qu'on veut pour peu que l'on dispose de temps et d'argent... Lorsqu'on écoute cependant les innombrables discussions autour de la stéréophonie on a cependant <sup>pas</sup> le sentiment que l'on sache très bien ce qu'il faut faire pour satisfaire tout le monde, et les opinions sont fort divergentes de ce point de vue. Les spécialistes, preneurs de son et autres, élaborent, chacun pour son compte, une technique bien définie, dont ils maîtrisent bien les variables. Ils se conditionnent nécessairement à cette technique, et jugent à travers elle comme non conforme, c'est-à-dire "mauvais" ce que font d'autres, et on voit se dessiner en divers lieux des "écoles" dont le moins qu'on puisse dire est qu'elles ne sont d'accord ni sur les fins ni sur les moyens à utiliser. Bref, il manque manifestement une doctrine cohérente, et visiblement la cause en est à chercher dans l'insuffisance de nos connaissances dans le domaine des mécanismes auditifs. En effet, si les problèmes technologiques sont actuellement résolus ou du moins solubles, ceux de l'audition binaurale sont loin de l'être. On ne sait toujours pas très bien comment fonctionne le système auditif et toutes les hypothèses que nous ont fournies les psychophysiciens ces dernières années sont loin d'être convergentes et satisfaisantes.

...../

Nous ne sommes pas les seuls à déplorer cet état de fait. Dans les Comptes-rendus du Festival du son de 1965 (JOURNEES D'ETUDE, CHIRON Paris 1965), un spécialiste, SCHIESSER, parlant de l'effet directionnel de l'oreille, de différence de phase, de temps de propagation dans les canaux, dit en particulier :

" ... Il faut avouer que nos ingénieurs connaissent les propriétés techniques de leurs canaux de transmission beaucoup mieux que les physiologistes ne connaissent ceux de l'oreille .... "

" ... Depuis STEVENS, LAURIDSEN, FRANSSSEN, CHATENAY, WENDT ... les chercheurs ont montré l'influence des conditions d'écoute et les caractéristiques des signaux... Mais les résultats de ces recherches ne sont encourageants qu'en partie!"

Comme on le voit, on ne peut guère être optimiste, et c'est pour tenter de cerner de plus près cet irritant problème des mécanismes de perception binaurale que nous avons organisé cette réunion sur la stéréophonie.

Les problèmes de la stéréophonie sont nombreux, variés et compliqués ! Mon propos, ce jour est limité aux mécanismes perceptifs. Je voudrais tenter de formuler un certain nombre d'hypothèses, proposer une méthode de recherche, définir un modèle fonctionnel du système auditif stéréophonique, tous points susceptibles d'éclairer le problème. Il ne sera nullement question ici de technologie électro-acoustique : problème des chaînes, des haut-parleurs, des disques etc..., où je suis tout à fait incompetent. On ne parlera pas davantage de prise de son stéréophonique : une réunion est prévue l'an prochain sur ce thème avec M. CEDEN de la R.T.B. qui connaît bien ce sujet.

Dans tout ce qui suit, je pars du matériel tel qu'il existe, des disques tels que me les fournit le commerce, du local d'écoute défini où se passe nos réunions, de notre chaîne d'audition stéréo etc... bref, je pars d'un cas particulier précis. L'extrapolation sera facile.

Ce dont il s'agit ici, c'est d'abord de savoir ce qui se passe au voisinage de chacune de mes deux oreilles lorsque j'écoute une reproduction stéréophonique dans les conditions matérielles susdites. Le problème commence à m'intéresser à ce point précis, à l'exclusion des maillons antérieurs de la chaîne. Mon but c'est d'analyser ce qui se passe acoustiquement au voisinage de mes deux oreilles, puis d'essayer de comprendre les mécanismes perceptifs qui font qu'une audition stéréophonique ne produit pas les mêmes impressions qu'une audition monophonique, enfin de formuler des hypothèses réalistes sur ces questions.

J'ai souvent insisté déjà sur un point qui me semble important : une hypothèse, nous le savons, est fautive par définition. Une hypothèse est un "outil à penser" qui permet d'avancer une question restée en suspens. Lorsque je propose un modèle fonctionnel, je ne pars nullement de la réalité anatomo-physiologique. Mon arrière-pensée, clairement formulée, est d'envisager un jour une simulation par voie informatique. Je ne crois pas, dans l'état actuel des choses, que l'on puisse comprendre le fonctionnement de notre sens de l'ouïe (et des autres) en explorant la réalité anatomo-physiologique, qui est beaucoup trop compliquée. Mais si nous réussissons à simuler les réactions de notre système auditif, même de façon imparfaite, nous aurons fait avancer la question ! Pour cela, il faut connaître les fonctions en présence; la façon dont ces fonctions sont réalisées par la nature est secondaire !

Ceci étant précisé, voyons comment se pose le problème de l'audition "stéréophonique".

L'homme a fait de la "stéréophonie" depuis les origines du temps. Plus exactement il a exploité de façon empirique les propriétés de son capteur double de sons. Pour échapper à un danger ou poursuivre une proie, le fait de pouvoir loca-

...../

liser la source de bruit dans l'espace en jugeant la distance et la direction était évidemment un atout précieux, et nos ancêtres avaient certainement un entraînement supérieur au nôtre de ce point de vue. A n'en pas douter, la manière de traiter l'information binaurale était identique à la nôtre, à l'apprentissage et au conditionnement près (c'est-à-dire au contenu des mémoires près).

La pratique empirique est toujours en avance sur la technique et la technique sur la science! On n'a commencé à s'occuper scientifique de perception stéréophonique que fort tard. On comprend pourquoi: le son, phénomène immatériel, longtemps insaisissable et invisualisable était un objet d'étude difficile. L'apparition des moyens électro-acoustiques à peu près convenables, après la guerre de 1914 permit enfin aux psycho-physiologues de tenter une approche systématique du problème de l'audition binaurale. Les publications sur ce sujet vont se multiplier dès lors et les traités de STEVENS, FLETCHER et autres mentionnent déjà de nombreux résultats.

La question va cependant retrouver un regain d'actualité avec la gravure sur disque, la technologie de gravure latérale et verticale simultanée étant devenue possible industriellement dès l'après-guerre 1940. L'industrie phonographique va avoir besoin d'informations plus précises sur l'audition stéréophonique. Plusieurs fabricants de disques et de chaînes d'audition s'intéressent dès lors à la question et font faire des recherches à titre privé, auxquelles on a parfois reproché de n'avoir pensé qu'au problème commercial. C'est assez légitime... : il est certain que, les disques modernes ne s'usant pas; l'industriel du disque, pour survivre est obligé de continuer à vendre, ce qui le conduit à la nécessité de renouveler certaines choses, ne serait-ce que la mode... La stéréophonie était lancée! Il faut reconnaître que technologiquement l'auditeur le plus difficile peut actuellement trouver de quoi être satisfait s'il met le prix voulu.

Mais ce n'est pas l'aspect technique, industriel ou commercial qui m'intéresse ici. Il doit bien y avoir une réalité perceptive, un gain pour l'auditeur, sinon la stéréophonie, serait abandonnée depuis longtemps déjà: le snobisme n'est jamais de longue durée! Pour comprendre cette réalité, divers chercheurs ont tenté de faire des parallèles entre stéréophonie et stéréoscopie celle-ci étant plus facile à étudier, parce qu'on travaille sur documents photographiques, objectifs, faciles à observer et à mesurer. Or, il se trouve que je me suis précisément intéressé aux problèmes stéréoscopiques il y a un quart de siècle, et, réflexion faite, il me semble probable que si les capteurs optiques et acoustiques sont différents dans leur nature et leur fonctionnement, les mécanismes de traitement de l'information fournie simultanément par deux capteurs (optiques ou acoustiques) pourraient être les mêmes, le même "ordinateur central" unique traitant tous ces problèmes avec des "programmes" identiques.

La différence fondamentale entre vision et audition n'est sans doute pas là. Elle se situe beaucoup plus certainement au niveau des différences de nature et de propagation des phénomènes en cause. Diffraction à part la lumière visible, quelle que soit la longueur d'onde, se propage en ligne droite. Nous percevons un point lumineux directement: si on interpose un obstacle entre l'objet et le capteur, le point lumineux n'est plus perçu. La diffraction dans l'air peut bien m'indiquer qu'il se passe quelque chose derrière l'obstacle, mais je ne puis préciser quoi.

Il en va tout autrement pour les sons. Les fréquences très élevées, supérieures à 4 ou 5000 Hz, par exemple, se propagent en gros comme la lumière. On peut parler ici de "rayons acoustiques" et étudier l'acoustique d'une salle (pour les hautes fréquences) avec les procédés classiques de l'optique (réflexion en particulier). Mais pour les sons graves il en va tout autrement. Ceux-ci se propagent non par "rayons" mais par sphères concentriques. Première conclusion, que vérifie la pratique usuelle: si une source lumineuse est à ma droite ou à ma gauche, je ne puis me tromper pour la localiser. Si un son aigu me parvient, il en va de même. Mais s'il s'agit d'un son très grave, je ne sais plus: le son vient de partout.....

Cette réserve à part, il existe entre vue et audition "stéréo" des points communs, et de ce point de vue il est certainement intéressant de donner quelques précisions sur la stéréoscopie. Ceci me permettra de tirer d'utiles conclusions quant aux méthodes de recherche que je préconise et de justifier le modèle de fonctionnement stéréoscopique du système auditif que je propose.

## II. UNE METHODE DE CORRELATION OPTIQUE POUR COMPARER DEUX IMAGES

La nécessité de comparer objectivement deux images m'a fait trouver autrefois un procédé fort simple. Je m'occupais alors de la possibilité de définir objectivement la qualité des instruments de musique et de comparer leurs "sonorités" respectives, problème sur lequel j'ai beaucoup travaillé en collaboration avec M. MOLES et avec l'aide de plusieurs fabricants d'instruments de musique (AFIMA; M. Ch. MAILLOT). Avec les moyens technologiques de l'époque (boucle magnétique et filtre à bande étroite) je relevais le "spectre" de sons musicaux que je représentais sous la forme classique (niveau en décibels en ordonnée, fréquence ou rang harmonique en abscisse). Pour comparer deux spectres, je les regardais alternativement et tentais mentalement d'apprécier leur degré de ressemblance et de différence, en essayant d'associer à ces ressemblances et différences spectrales les vocables utilisés par les musiciens pour décrire la qualité de leurs instruments (chaud, timbré, rond, meulleux, aigre etc...).

L'idée s'est faite un jour de superposer ces spectres deux à deux (fig.1) en colorant l'un en rouge et l'autre en vert (ou toutes autres couleurs complémentaires). Le résultat était tout à fait intéressant : on obtient ainsi sur une seule image des renseignements précis et chiffrables sur :

- la partie commune, qui en raison de la complémentarité des couleurs est noire
- les points originaux d'un spectre (en rouge)
- les points originaux de l'autre spectre (en vert).

Il était possible ainsi de porter d'emblée et en bloc, un jugement comparatif entre les deux sons étudiés, basé sur documents objectifs.

La couleur n'étant pas très commode à utiliser, on peut aussi prendre des hachure en sens inverse pour chaque spectre (la partie commune étant alors croisé-lonnés (fig.2).

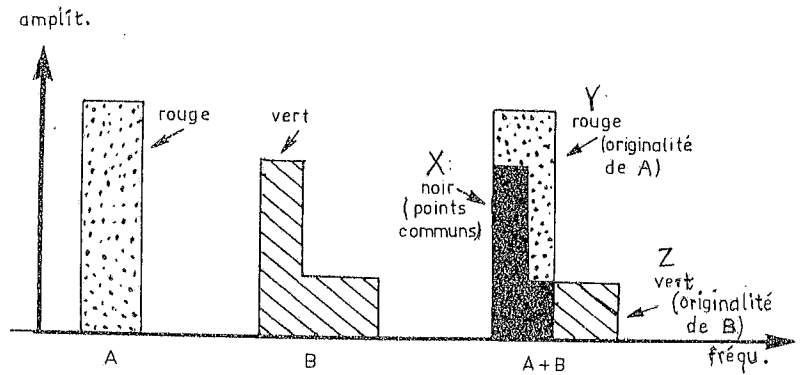
Finalement j'ai abandonné cette méthode lorsque je fus convaincu que la qualité des sons musicaux n'était pas dans "le spectre" mais dans son évolution transitoires d'attaque et d'extinction compris, c'est-à-dire lorsque j'eus compris que l'information n'est pas ce qui reste fixe mais ce qui change dans le temps.

Cette méthode de "corrélacion" optique globale me revint pourtant à l'esprit récemment à propos de recherches que je faisais sur la comparaison objective entre chaînes d'audition, postes de radio, microphones etc... L'occasion d'en reparler fut le dernier Festival International du Son, le 23 Mars 1972. Le compte rendu de cette conférence est publié dans les "CONFERENCES DES JOURNEES D'ETUDE; CHIRON, Paris (1972). Voici un exemple de problème traité (Fig.3).

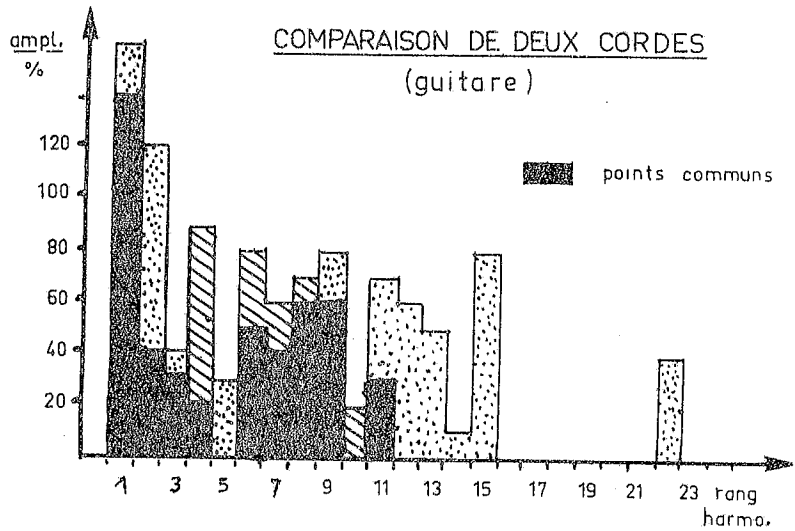
Soit à comparer deux microphones, un microphone piezoélectrique et un microphone dynamique classique. Pour comparer les maillons électro-acoustiques il existe des méthodes métrologiques connues qui permettent la mesure précise des diverses variables isolées. Mais nous pouvons difficilement raccorder ces mesures avec la réalité auditive pour la simple raison que lorsque ce microphone transmet des phénomènes acoustiques normaux (parole, musique etc...) les variables interfèrent entre elles.

...../

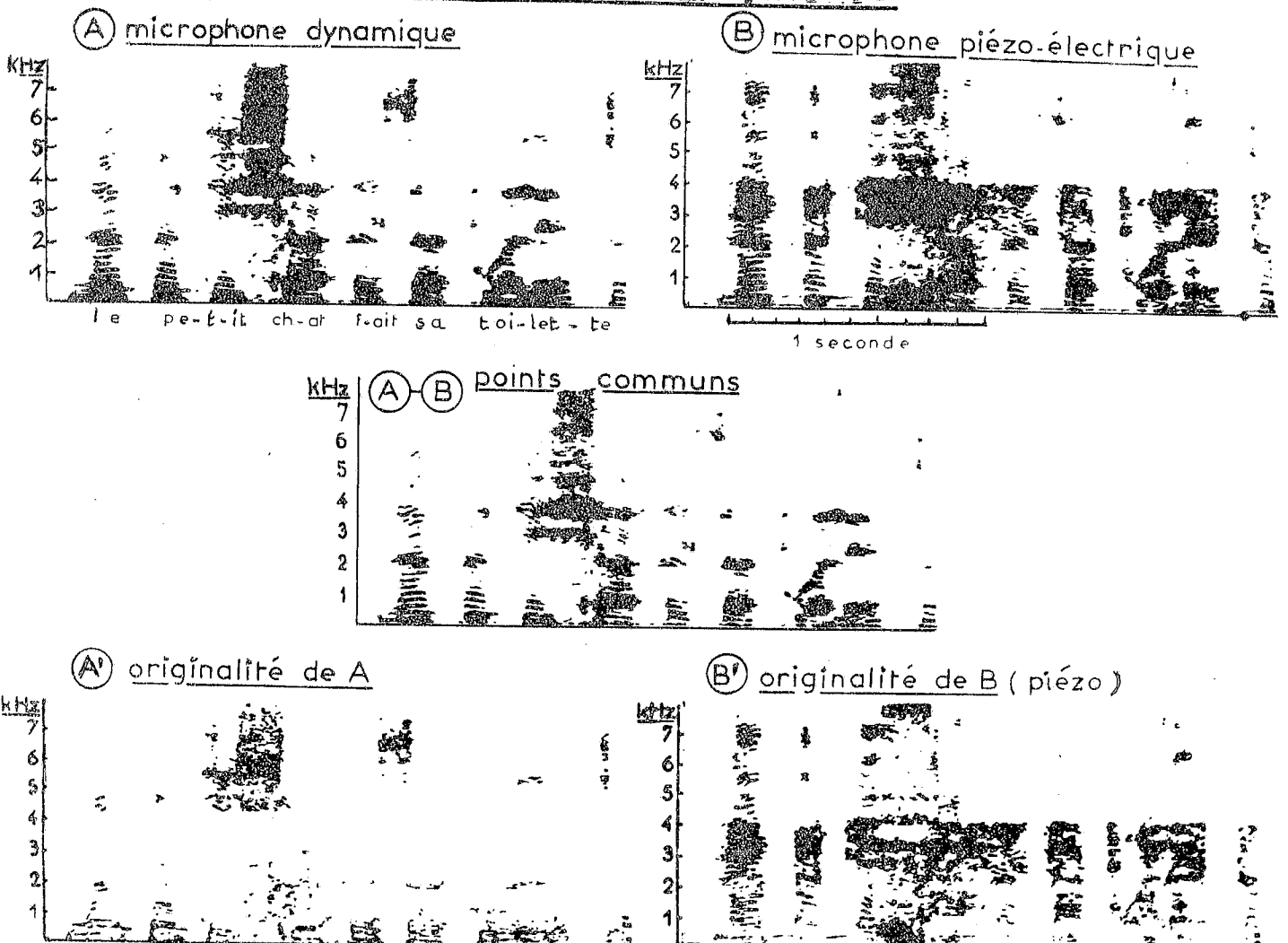
**Fig 1** Principe  
de la méthode de  
corrélation par  
couleurs complé-  
mentaires.



**Fig 2**  
Comparaison  
de deux  
spectres



**Fig 3** Comparaison de deux microphones



Or ce sont justement ces interférences qui importent, et qui malheureusement échappent aux méthodes métrologiques classiques.

L'idée de faire mieux était simple. On enregistre simultanément sur magnétophone professionnel stéréophonique (NAGRA IV S) une même séquence sonore, musique ou parole. Prenons par exemple la phrase qui nous sert souvent de phrase-test : "le petit chat fait sa toilette".

On tire les sonagrammes de cette phrase telle que "l'entendent" les deux microphones (fig.3). En dépauillant visuellement les deux documents, on observe aisément ce qui fait effectivement les particularités respectives des deux microphones. Le microphone dynamique donne une image nette, bien équilibrée dans toute la région fréquentielle, sans bruit de fond etc... Le microphone piézo-électrique, par contre, fournit une image plus floue, avec une bande résonance dans la zone sensible de l'oreille (entre 2 et 4000 Hz), ce qui fait croire à une grande intensité !

Il s'agit ensuite d'exploiter les possibilités offertes par la méthode de comparaison optique à ce cas particulier. Pour y atteindre, j'ai mis sur pied la méthode suivante.

Prenons un cas simple : on veut comparer deux formes A et B (fig.2).

On commence par tirer de ces formes une image négative.

En superposant les deux images négatives de ces deux formes, il est évident que la lumière ne passera que dans la région commune aux deux formes (zone C), qui représente l'invariant, les points communs (p.c).

Tirons de cette image des points communs un positif opaque (C').

Superposons ensuite ce positif des points communs successivement aux négatifs des images originales (A' et B'). Il est évident que l'originalité de A par rapport à B va se traduire par une plage transparente (o) pour la forme A; et par une plage transparente (o') pour la forme B.

On a donc isolé ainsi la partie commune entre deux "images" et les points originaux de l'une par rapport à l'autre. Bref, on a mis en évidence l'information relative entre les deux formes.

L'intérêt de cette méthode est évident. On peut, à partir des images C, C', o et o', tirer un parallèle entre deux formes, les comparer.

Avantage considérable : on dispose ici de documents objectifs, que l'on peut décrire et mesurer avec précision à partir des deux dimensions en cause (hauteur et largeur pour ces formes). On peut aussi relever directement les grandeurs de C (points communs), o et o', soit en mesurant les surfaces de deux formes, soit en mesurant avec une cellule photo-électrique la quantité de lumière passant respectivement par C, o et o'. On peut ainsi définir :

- un taux de similitude entre les deux formes.
- un taux d'originalité de chaque forme par rapport à l'autre.

Lorsque nous comparons mentalement deux phénomènes optiques ou acoustiques, nous ne faisons pas autre chose. Si les deux images sont totalement différentes, elles n'auront aucun point commun et une originalité de 100 % de l'une par rapport à l'autre; concluons alors qu'il s'agit de deux choses tout à fait différentes qu'on ne peut apprécier comparativement. Si les deux images sont strictement identiques elles présentent 100 % de points communs et des originalités relatives nulles. Nous concluons

..../



alors que les deux images sont strictement identiques et que l'une n'apporte aucune information par rapport à l'autre. Si les deux images sont légèrement différentes il s'agit de variantes du même objet. Le taux de similitude sera pas exemple de 90 %, les 10 % restants nous permettront d'apprécier ce que l'on gagne à utiliser simultanément les deux images.

L'intérêt d'utiliser deux images plutôt qu'une en transmission de messages (technologiques ou physiologiques) est évident. Avec deux capteurs disposés en des points différents, on gagne certainement en information, comparativement à ce qui se passerait avec un seul capteur.

La méthode de corrélation optique, photographique, proposée plus haut, est délicate et fastidieuse. Mais l'ordinateur n'est-il pas fait pour nous soulager de ces besognes... une fois qu'elles sont bien définies et que les méthodes sont bien au point ?

En fait, l'utilisation de cette méthode par ordinateur est évidente. Il suffit de disposer d'une entrée analogique (entrée son ou graphic input), de stocker en mémoire les "images" que l'on se propose de traiter, et de faire des programmes correspondant aux manipulations définies ci-dessus (extraction des points communs et des originalités). On pourra traiter ainsi les problèmes les plus variés, optiques, acoustiques ou autres. Les procédés et programmes à utiliser font désormais partie de la routine de l'informatique.

On peut tenter de tirer un parallèle entre ces opérations et celles que nous supputons avoir lieu dans notre cerveau; on peut espérer comprendre ainsi, sur des bases objectives, les jugements subjectifs formulés sur tel ou tel phénomène.

Pour le montrer, prenons un exemple choisi parmi les cas manifestement plus simples de la stéréoscopie et de la stéréophotographie.

### III. LE CAS DE LA STEREOSCOPIE

Un appareil de photographie stéréoscopique fournit deux images légèrement différentes, données par deux objectifs distants de 6,5 cm environ (distance normale entre les deux yeux humains). Normalement, après diverses manipulations du négatif, on obtient un couple de positifs que l'on regard avec une visionneuse spéciale comportant deux oculaires. Une cloison séparant totalement les deux images, l'oeil gauche ne voit rien de l'image droite et inversement.

La sensation résultant de l'observation d'un couple stéréoscopique procure manifestement un gain comparativement à l'observation d'une image monoscopique. Cette sensation résulte d'une combinaison de plusieurs variables :

- On a d'abord une sensation de localisation angulaire, de position gauche-droite, comme en monoscopie bien entendu; mais avec une différence importante cependant. Si un objet ayant une certaine épaisseur est déplacé de gauche à droite sur une ligne parallèle à celle qui relie les deux yeux, l'image n'est pas strictement identique lorsque l'objet est à gauche ou à droite. Nous y reviendrons un peu plus loin.
- L'observation d'un couple stéréoscopique produit encore une nette sensation de distance de l'objet observé par rapport à l'observateur.

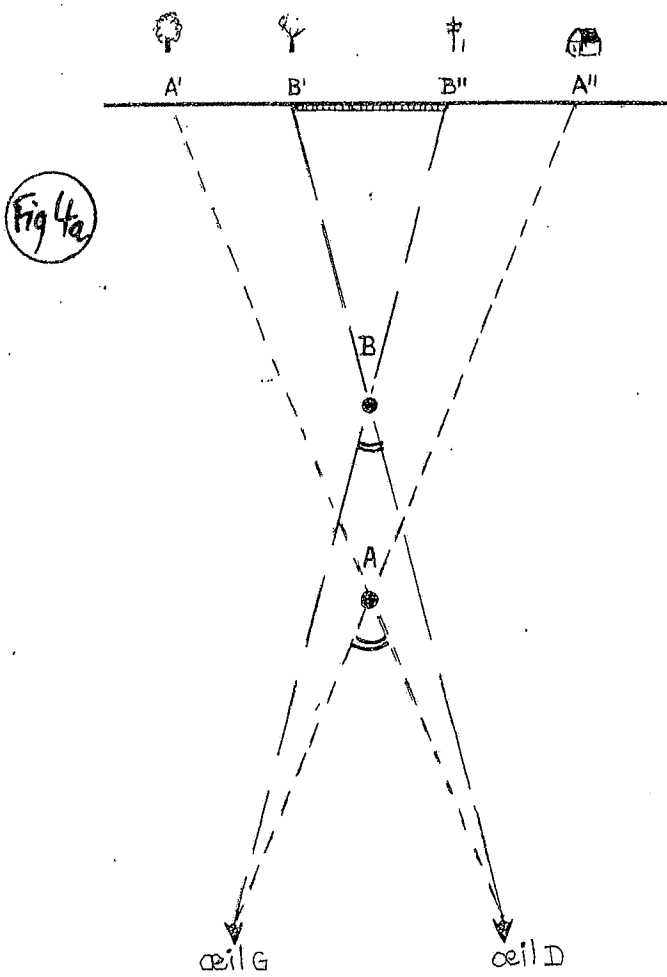


Fig 4a

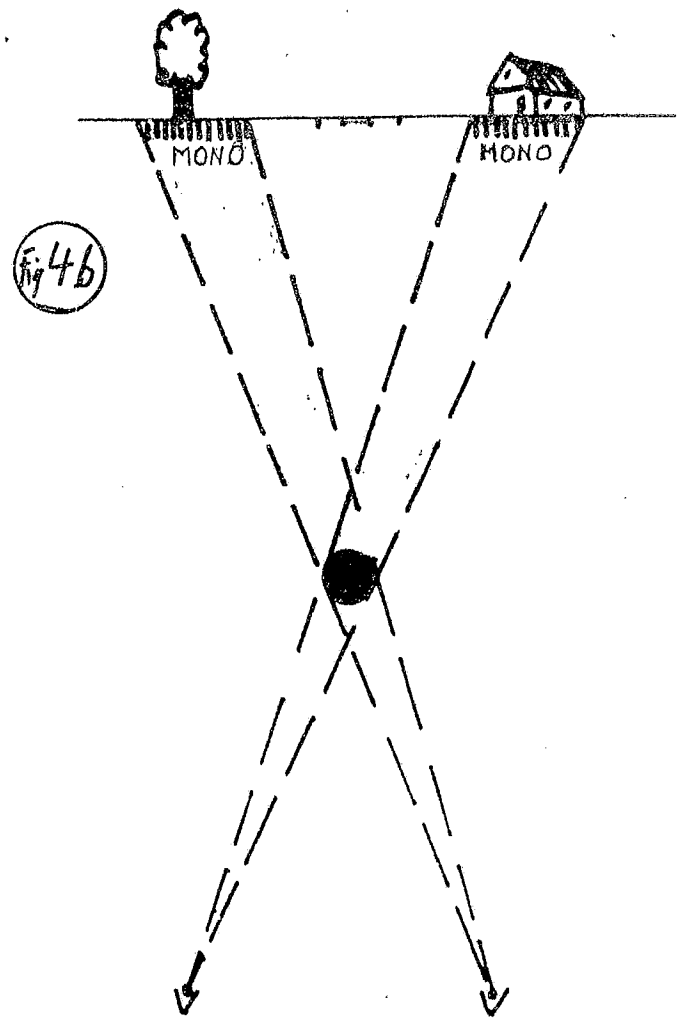


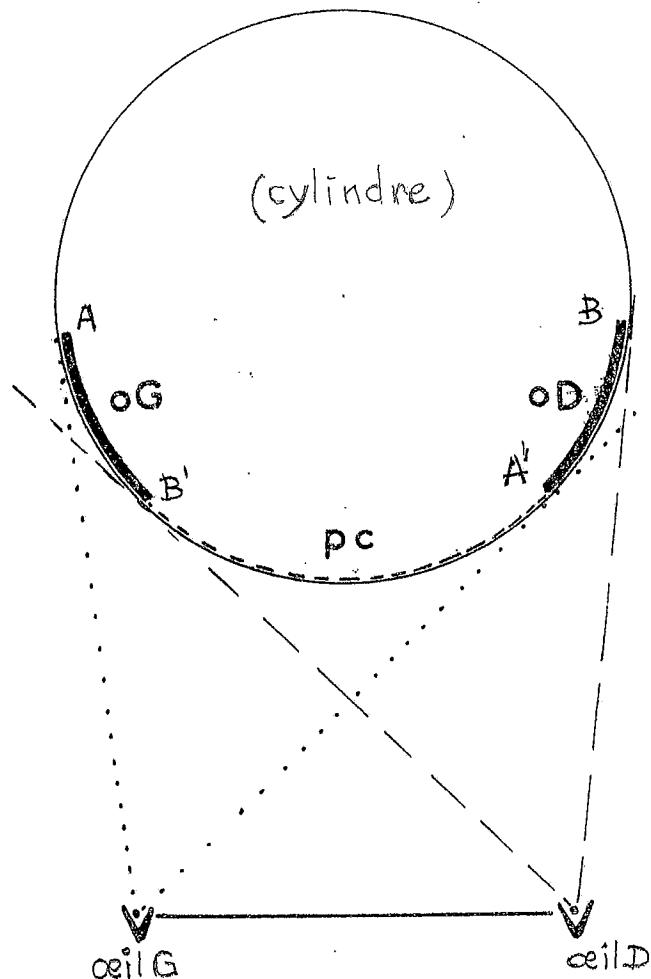
Fig 4b

Fig 4c

4a. La parallaxe (angle  $A >$  angle  $B$ )  
nous renseigne sur la distance

4b. Les surfaces cachées par l'objet sur le fond sont un autre indice de la distance.

4c: Les points originaux vus seulement par l'œil gauche ou l'œil droit nous informent sur l'épaisseur de l'objet.



- enfin, il s'ajoute aux deux sensations précédentes celle d'épaisseur d'un objet à trois dimensions.

- *de plus, on a indubitablement une sensation de acin de "netteté" des contours, et les formes se détachent mieux du fond.*

Il n'est certes pas hors de propos de donner quelques précisions sur ces points; on verra ensuite s'il est possible d'assimiler la vision à l'audition de ces points de vue.

## 1°) SENSATION DE LOCALISATION ANGULAIRE.

Lorsque nous regardons un objet, nos deux yeux convergent sur lui. Nous localisons alors les autres objets (dans le sens gauche-droite) par rapport au plan vertical passant au milieu de la ligne qui rejoint nos deux yeux. Cette localisation angulaire ne pose donc pas de problème en vision. Sauf un ! ... Si nous sommes conditionnés par une longue habitude à voir tel objet à droite de tel autre, nous éprouverons une gêne lorsque par hasard nous le trouvons un jour placé à gauche... Cette gêne rend les dispositions insolites, inhabituelles; et ce à quoi nous ne sommes pas habitués nous gêne, nous semble "mauvais".

Comme la lumière se propage par "rayons" et en ligne droite, nous n'aurons pas de problème de localisation gauche-droite en stéréoscopie. Mais nous en aurons en stéréophonie à cause de la propagation par sphères des basses fréquences.

## 2°) SENSATION DE DISTANCE.

Plusieurs variables nous permettent d'évaluer, de jauger la distance d'un objet :

- On sait que l'angle de vision nette est très faible (quelques degrés). Lorsque nous faisons converger nos deux yeux vers l'objet à observer (fig. 4a), l'angle que font <sup>leurs axes optiques</sup> dépend évidemment de l'intervalle entre ~~les yeux~~ et de la distance de l'objet (parallaxe). Nous sommes capables de faire converger très rigoureusement nos deux yeux sur un objet : nous disposons donc d'un programme de pilotage musculaire très précis dans notre cerveau. De là à admettre que nous sommes à même de mesurer l'angle de convergence de façon très précise il n'y a qu'un pas, et cet angle est en soi une mesure de la distance d'un objet ponctuel.
- Lorsqu'il s'agit d'un objet à deux ou trois dimensions, une autre indication de sa distance peut découler de certains mécanismes d'apprentissage. Je sais qu'un homme a 1,70 en moyenne, ce qu'une longue expérience m'a appris. Mais l'oeil est d'abord une chambre photographique avec un objectif qui fournit une image sur la rétine. Il est évident que je ne puis tirer de conclusions sur la grandeur d'un homme à partir des dimensions de son image sur la rétine, qui est d'autant plus petite que l'homme est plus éloigné. Mais c'est précisément la comparaison des dimensions de l'image rétinienne avec l'étalon que j'ai présente en mémoire qui me permettra de jauger la distance du sujet.
- Un autre indice encore permet d'apprécier la distance. Très généralement nous voyons les objets sur un fond comportant d'autres objets. Or si je regarde tel point (A) en faisant converger sur lui mes deux yeux, ce point cachera deux objets du fond : la maison (A") pour l'oeil gauche et l'arbre (A') pour l'oeil droit. La distance A' A" est évidemment significative de la distance de l'objet par rapport au fond. En effet, si l'objet s'éloigne pour venir en B, la distance B' B" sera significatif de la distance du point B. Bref, si je regard un objet avec les deux yeux, le rapport A'A"/B'B" va m'apporter de l'information quant à la distance relative de cet objet.

On notera en passant que si l'objet en question a une certaine dimension, il cache toute une région du fond pour l'oeil gauche, et une autre région pour

...../

l'oeil droit (fig. 4b). La sensation de relief pour ces deux régions ne peut donc exister (alors qu'elle existe pour le reste des objets du fond, vus par les deux yeux). Le rapport entre la surface totale du fond et la somme des surfaces cachées par l'objet est un indice simultanément de sa largeur et de sa distance. Comme on le voit, la sensation de distance est un problème complexe.

Mais il est un autre point manifestement plus important encore en sensation stéréoscopique : celui de la sensation d'épaisseur des objets.

### 3°) SENSATION D'ÉPAISSEUR DES OBJETS TRIDIMENSIONNELS.

Un exemple simple va nous éclairer. Considérons un objet cylindrique vertical observé par les deux yeux (fig. 4c).

L'oeil gauche voit la partie du cylindre comprise entre A et A'; l'oeil droit voit la partie B B'. Les deux yeux voient donc une partie commune (p.c). Mais l'oeil gauche voit une partie AB que l'oeil droit ne voit manifestement pas; inversement, l'oeil droit voit une partie A'B' que ne voit pas l'oeil gauche. Chaque oeil capte donc une partie commune de l'image et une partie originale (oG et oD) où la vision n'est pas stéréoscopique. Cette partie originale représente le "gain" procuré par la stéréoscopie. Un exemple réel va le montrer plus clairement.

Voici (fig.5) un couple stéréoscopique relatif à une marchande de ballons. Visiblement le nombre de points communs est important : l'image de gauche et celle de droite représentent bien la "même chose". Mais il y a bien sûr des différences.. Pour les mettre en évidence extrayons par la méthode photographique ci-dessus les points communs (p.c). Puis soustrayons ces points communs de chacune des images du couple. On obtient les originalités respectives du couple gauche et droit (oG - oD).

Comme la sensation stéréophonique est une, globale, unique, additionnons les deux originalités (s.o). Cette image correspond très exactement à la sensation d'épaisseur définie ci-dessus pour un cylindre. L'oeil gauche voit une petite partie de plus que l'oeil droit, du côté de la gauche du sujet. Cette partie détermine un cerne sur son côté gauche. De même l'oeil droit délimite un cerne sur la partie droite du sujet. En additionnant les deux demi-cernes, on obtient le contour de la forme, qui apparait de façon très nette. L'opération fait donc émerger la forme sur le fond en la cernant. Ce gain de netteté des contours est un apport important du procédé stéréoscopique.

En résumé la sensation stéréoscopique est un phénomène perceptif complexe où localisation angulaire, distance et épaisseur des objets réalisent une combinaison compliquée aboutissant à un effet spécial. La méthode de corrélation optique permet de tout chiffrer en cas de besoin, et un traitement similaire par ordinateur ne pose aucun problème. L'apport stéréoscopique peut donc être défini de façon objective et mesurable.

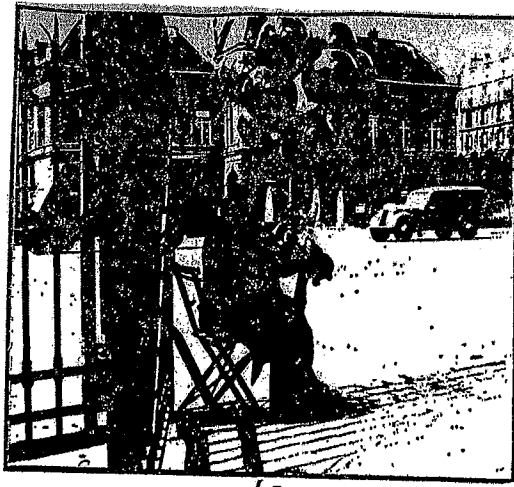
Voyons à présent dans quelle mesure ce qui précède se raccorde avec la stéréophonie.

## IV. LE CAS DE LA STEREOPHONIE

Nous savons déjà qu'en raison des différences de propagation entre les phénomènes acoustiques et optiques, les mécanismes de la perception stéréoscopique ne peuvent pas être tout à fait identiques à ceux de la perception stéréophonique. Il existe cependant des points communs : tout est à la fois similaire et différent comme on va voir.

...../

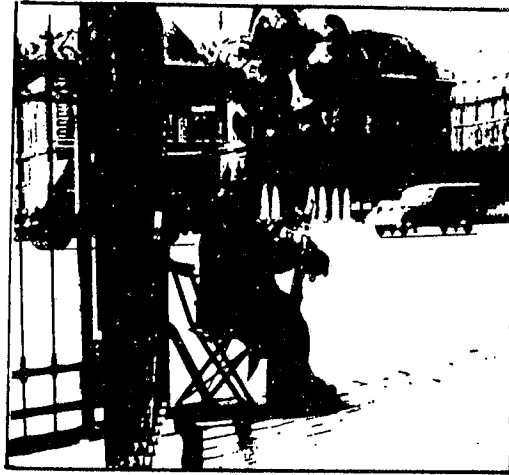
Fig 5



G



D



p.c



o.G



o.D

*On notera que les formes  
sont cernées et se  
détachent ainsi mieux  
du fond. —*

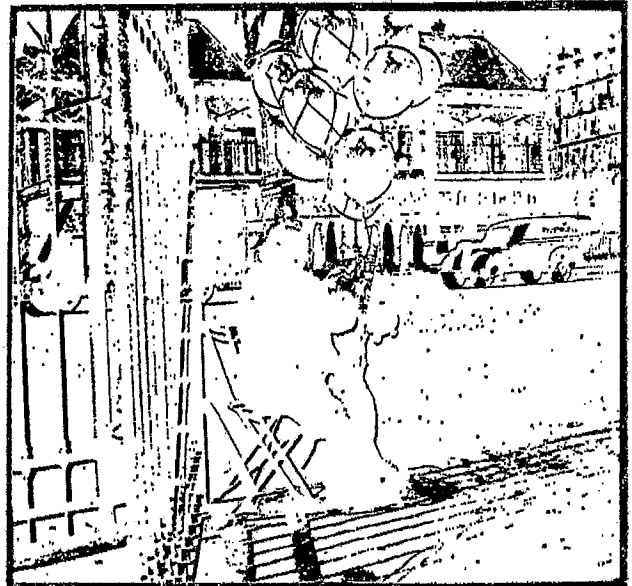


s.o

Fig 5B



O.G



O.D



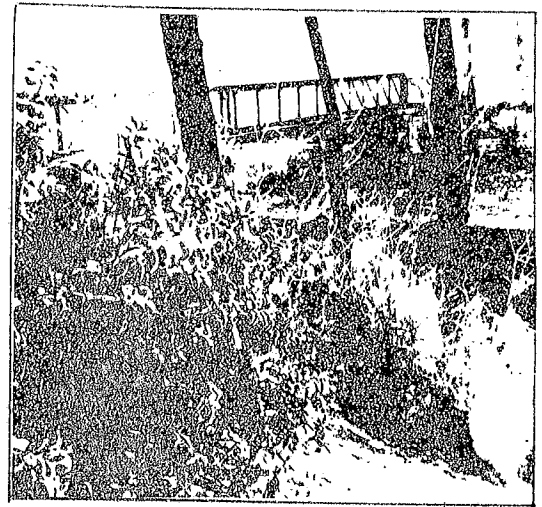
S.O

On voit mieux, ici, le cerne gauche (O.G) et le cerne droit (O.D). La somme de O.G + O.D donne le contour des formes, qui émergent mieux du fond dès lors. La figure S.O correspond au GAIN stéréoscopique....

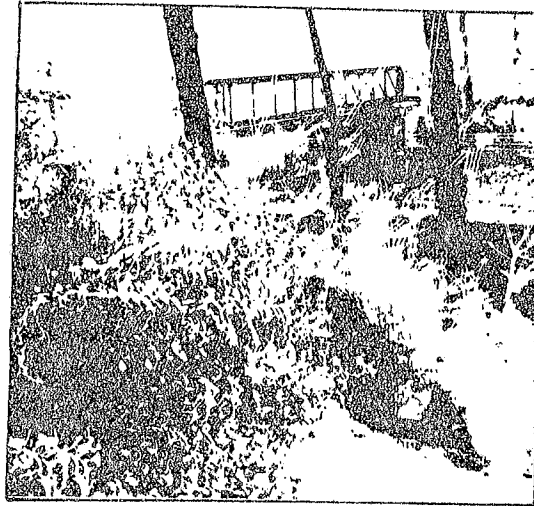
50



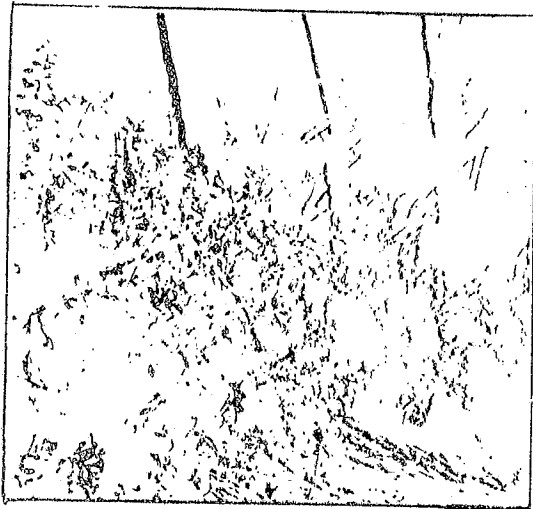
G



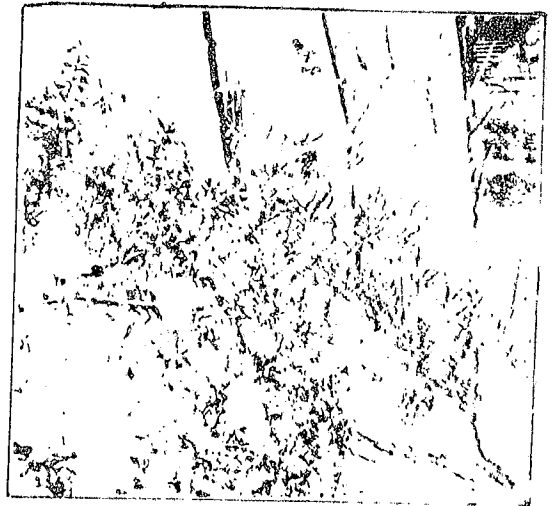
D



p.c



o.G



o.D

Autre exemple de  
manipulations sur  
couple stéréoscopique.  
On retrouve les cernes  
des formes.



s.o

Reprenons tour à tour les variables déterminant la sensation stéréoscopique et voyons ce qu'il en est pour la stéréophonie.

### 1°) LOCALISATION ANGULAIRE

La localisation angulaire fut un des premiers effets exploités par la stéréophonie au cinéma et dans les disques. Le problème est beaucoup plus compliqué qu'en stéréoscopie, et plusieurs variables sont à considérer.

#### a) La composition spectrale des événements acoustiques

On a fait à ce sujet beaucoup d'expériences en laboratoire, malheureusement impossibles à raccorder en général avec la réalité. Ainsi dès 1922, SIVIAN et WHITE ont montré que les sons sinusoïdaux très graves étaient impossibles à localiser angulairement en salle sourde, contrairement à ce qui se passe pour les sons aigus. Mais les événements acoustiques réels les seuls que nous prenions en considérations, représentent toujours un mélange de grave et d'aigu, et dans ces conditions, il est évident que la localisation angulaire dépend de la composition spectrale des phénomènes rayonnés. Comme celle-ci change continuellement dans une œuvre, pour un même instrument, pour un ensemble instrumental, il est évident que selon la théorie on devrait observer alors auditivement des déplacements angulaires des instruments en cours d'exécution.... Si c'était vrai, dans une exécution en direct, la vue se charge de corriger cet ennui ! En fait, lorsqu'on écoute sans voir (disque) on observe que la sensation angulaire de latéralisation n'apparaît très nettement qu'avec des instruments émettant très brusquement des signaux de fréquence très aigüe : castagnettes, tambourins, etc... Pour les instruments normaux, à spectres riches (voix humaine, trompes de chasse etc...) la localisation angulaire reste beaucoup plus incertaine. De toutes façons la sensation stéréophonique n'est pas essentiellement la localisation angulaire qui reste un effet secondaire - quoique souvent exploité.

#### b) L'intensité

Les expériences de laboratoire ont montré que lorsqu'on disposait deux haut-parleurs identiques mais d'intensité réglable; à la même distance d'un auditeur et dans des azimuts différents, le sujet localisait la source du côté du haut-parleur le plus intense (en régime sinusoïdal). Ce genre d'expérience, pour intéressante qu'elle soit, ne peut conduire qu'à des conclusions erronées. Ce qui est valable pour des sinusoïdes ne l'est plus pour des sons musicaux. Selon qu'un musicien joue "faible" ou "fort", on devrait avoir le sentiment qu'il s'éloigne ou se rapproche. Quand deux musiciens jouent ensemble, l'un en mezzo l'autre en forte, on devrait croire que le deuxième est plus près.... Avec des sons réels, de la musique réelle, les choses ne sont pas telles. L'éloignement d'un musicien ne peut être repéré par l'intensité des sons qu'il émet. Un indice pourrait être le filtrage des sons qu'il fabrique, filtrage qui varie avec la distance. Un violon entendu de près est beaucoup plus riche en aigu que s'il est entendu de loin, et les transitoires (grattements d'archet) sont audibles de près alors qu'ils disparaissent partiellement à distance du fait de l'absorption de l'aigu par la distance.

Bien sûr qu'à l'écoute d'une chaîne stéréophonique à deux baffles, en réglant la balance graduellement de gauche à droite, j'ai le sentiment, aux deux points extrêmes que le son "vient de gauche" puis de droite en passant par le milieu. Mais le phénomène peut devenir très ambigu dans un local à murs réfléchissant mieux l'aigu que le grave. Il faudrait aussi voir si l'auditeur

...../



possède deux oreilles strictement identiques! Heureusement que la "stéréo" ce n'est pas uniquement la localisation angulaire!

### c) La phase

On en a beaucoup parlé, depuis l'origine de la stéréophonie, en se basant en particulier sur les expériences de laboratoire. STEVENS cite l'expérience où l'on introduit une canule dans chaque oreille d'un sujet; on envoie la même sinusoïde dans l'oreille gauche et droite en réglant le décalage de phase à volonté. On vérifie dans ces conditions que l'auditeur localise la source angulairement du côté de la phase directrice, du signal dont le premier maximum d'amplitude est perçu par le sujet. Mais STEVENS lui-même précise qu'avec des sons continus on ne sait plus... De même pour les hautes fréquences tout devient très imprécis et la sensation de localisation angulaire baisse considérablement.

Il faut insister une fois encore sur l'inadéquation des méthodes de recherche utilisées ici, qui conduisent à l'impossibilité de raccorder les résultats avec la réalité. Il faut, une fois de plus poser la question: "qu'est-ce que la phase dans un son de tambour, de castagnette, de cloche ou même de violon?".... L'expérience montre bien que lorsqu'on change la phase de l'un des haut-parleurs d'une chaîne d'audition stéréophonique, dans certains cas particuliers, on "perd" sur les "basses". Mais tout dépend du type de musique, des caractéristiques directionnelles des haut-parleurs, du local d'écoute, de la place de l'auditeur etc... Contrairement à ce que l'on dit souvent, la phase ne joue qu'un rôle mineur dans la sensation stéréophonique lorsqu'il s'agit d'événements acoustiques musicaux et vocaux normaux.

### d) Le temps

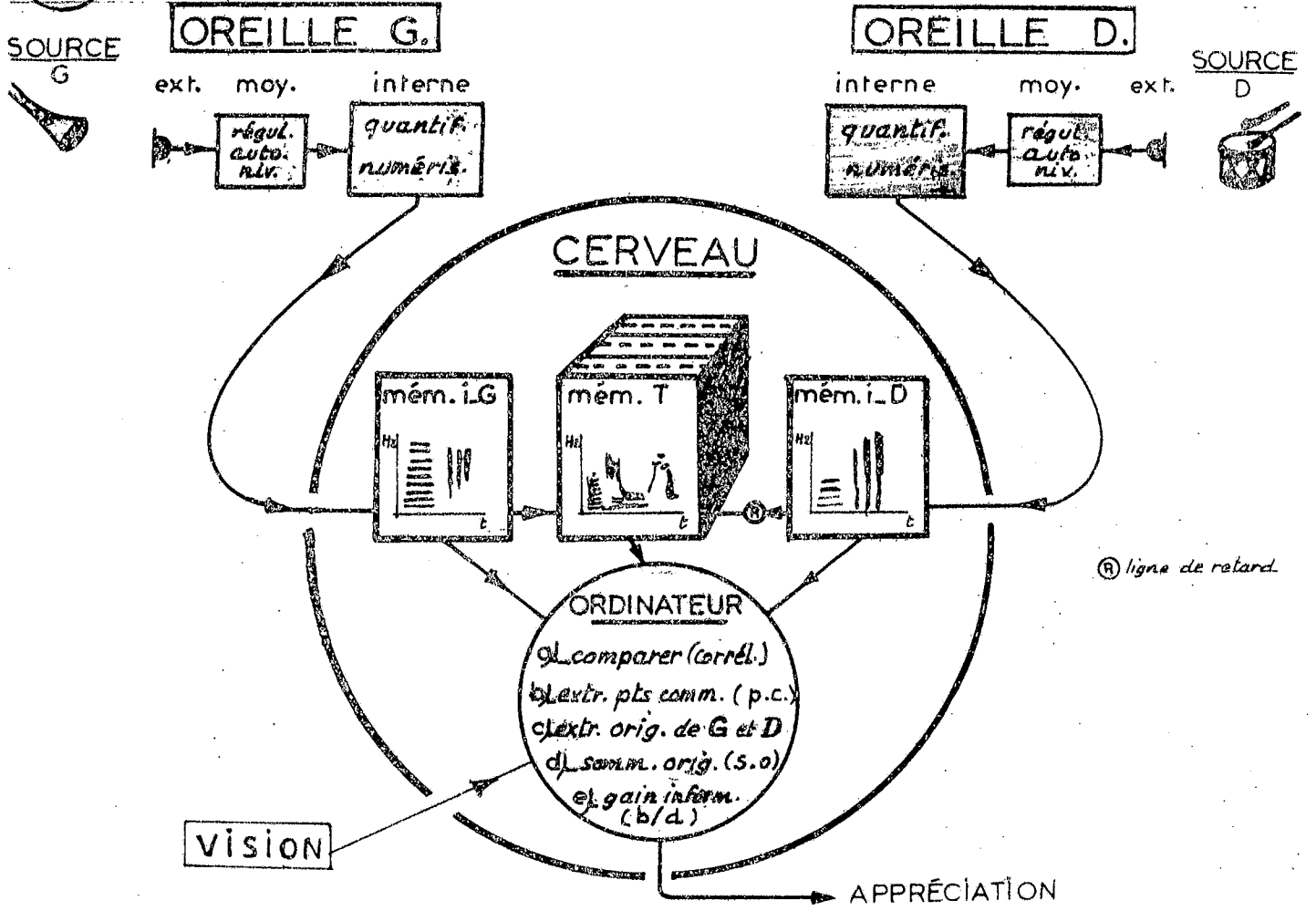
On a montré de même, en laboratoire, que si l'on envoyait sur les deux oreilles deux clics légèrement décalés dans le temps, ceux-ci fusionnaient pour l'auditeur en un seul clic, mais qu'on localise celui-ci du côté où est arrivé le premier clic. On peut rétorquer tout cela qu'habituellement on n'écoute pas des clics sur une chaîne stéréo, mais de la musique ou des paroles! Ces expériences mènent de paradoxe en paradoxe: si l'intensité nous dit par exemple que la source est à gauche, la phase qu'elle est au milieu et le temps qu'elle est à droite où va-t-on localiser angulairement la source? La vérité, c'est qu'il serait raisonnable de repenser toutes ces expériences. En particulier, il faudrait se rappeler que la musique et la parole sont des phénomènes acoustiques complexes, perçus globalement comme des "touts" que "l'oreille" juge en bloc. Nous avons souvent insisté sur l'intérêt de quelques idées directrices définies par la GESTALTTHÉORIE, qui se sont avérées très fructueuses et qui nous avaient déjà conduits à imaginer un modèle fonctionnel du système auditif humain permettant une meilleure approche des mécanismes de la perception auditive. Ce modèle fonctionnel était "monophonique". Voici celui que nous proposons pour le cas de la stéréophonie, et qui nous permettra de mettre en lumière les mécanismes en cause.

## V. UN MODÈLE FONCTIONNEL STERÉOPHONIQUE DE L'AUDITION

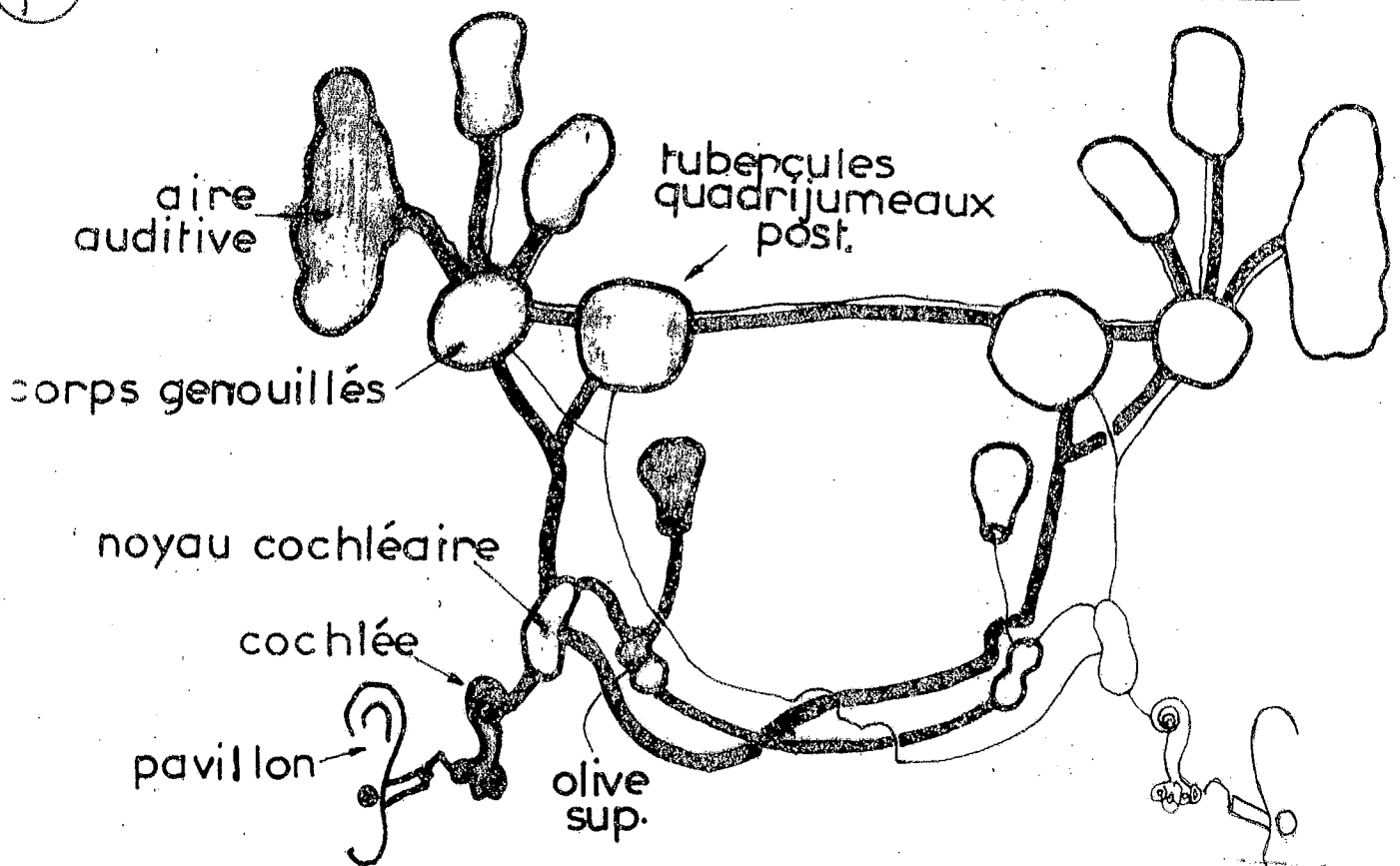
Reprenons le schéma que nous avons déjà proposé ailleurs (ACOUSTIQUE ET MUSIQUE; chez MASSON 1972), en supprimant diverses fonctions pour ne conserver que ce qui se rapporte à l'audition stéréophonique de façon plus particulière. (fig.6). Une source sonore donnée (ou des sources multiples) produit des vibrations aériennes dont la forme est plus ou moins différente au niveau de l'oreille droite et de l'oreille-

...../

**Fig. 6. UN MODÈLE FONCTIONNEL de l'AUDITION STÉRÉOPHONIQUE**



**Fig. 7. UN SCHÉMA des VOIES STÉRÉOPHONIQUES de l'OREILLE**



le gauche.

Chaque oreille externe capte au mieux le signal qui est en son voisinage immédiat; chaque oreille moyenne régule par voie réflexe le niveau grâce au système des osselets, afin que les maillons suivants ne soient ni détruits ni saturés. Chaque oreille interne, enfin, joue son rôle de convertisseur analogique-digital, et code le signal acoustique capté en volées d'impulsions électriques. Celles-ci peuvent dès lors être stockées et traitées par "l'ordinateur central" de notre cerveau.

Ne conservons ici que deux types de mémoires : une instantanée pour chaque oreille (iG et iD) et une mémoire transitoire unique de stockage de l'information (T). Grâce à une disposition de ligne de retard, on peut stocker dans celle-ci, l'une contre l'autre les "images" venant respectivement de la mémoire instantanée gauche et droite. On peut imaginer les mémoires instantanées comme des mémoires tournantes (ou à décalage) familières aux informaticiens, et où l'information acoustique actuelle s'inscrit pendant une durée de quelques secondes. Les "images" qui existent à un instant donné sur ces deux mémoires peuvent évidemment être utilisées instantanément, et en bloc, par transfert dans la mémoire centrale de l'ordinateur, en vue de traitement immédiat ou ultérieur. Si le transfert n'est pas fait instantanément, l'information est évidemment perdue... sauf si on la stocke en mémoire T où les deux "cartes" (Gauche et Droite) peuvent être conservées aussi longtemps qu'on le désire.

Finalement, à un moment donné, on possède en mémoire T un stock d'information par blocs, et des informations "passagères" en iD et iG.

Que pouvons-nous faire avec cette information ? Toutes sortes d'opérations ! Il suffit d'apprendre les programmes adéquats... Ceux qui nous concernent ici (stéréophonie) se résument ainsi :

- On peut se proposer de faire des comparaisons en bloc, du type corrélation optique, dont on a parlé plus haut. Ceci permet de savoir si l'information qui vient de droite et de gauche (ou contenue dans deux cartes voisines en mémoire T) indique deux "objets" tout à fait semblables (reconnaissance de formes), tout à fait différents, ou très voisins. Dans ce dernier cas, des programmes de traitement adéquats permettent de définir les points communs (de mesurer le taux de similitude) d'extraire par différence l'originalité relative de chacune des images de droite et de gauche, de faire une sommation de ces originalités afin d'apprécier le gain d'information venant du fait que j'écoute avec mes deux oreilles, toutes opérations similaires à celles qu'on a faites en stéréoscopie.

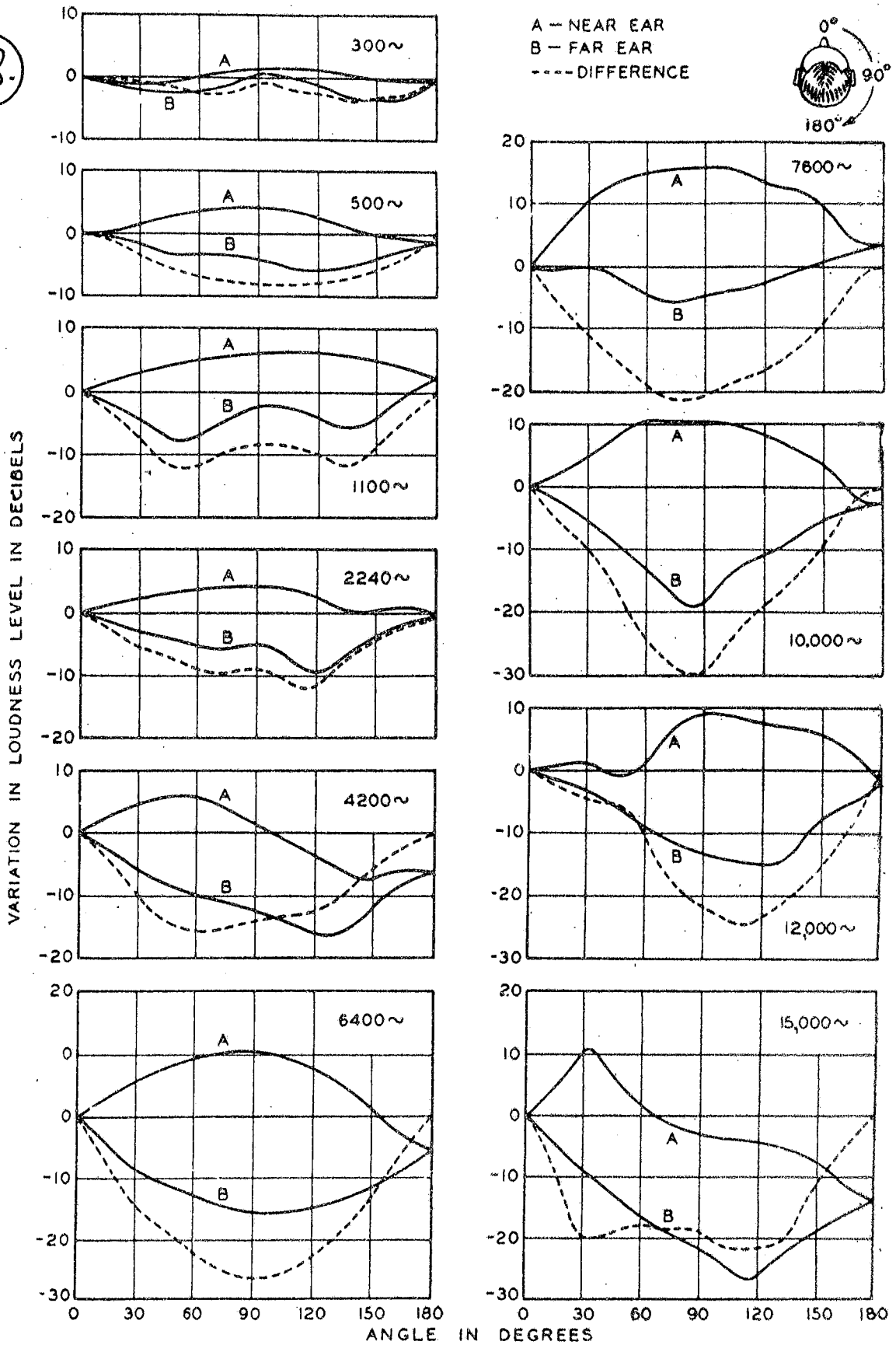
A la fin des opérations on sera à même de formuler (sur documents) des appréciations qualitatives et quantitatives sur le phénomène capté simultanément avec les deux oreilles.

En fait, on a simulé ce que fait le cerveau à partir des données que fournissent les deux oreilles. Si la simulation est correcte, on devrait pouvoir comprendre mieux tout ce qu'on éprouve à l'audition stéréophonique et aussi tout ce qu'on a dit de juste et d'erroné ou d'insuffisant à ce sujet.

Il doit être clair que ce modèle ne prétend pas simuler la réalité anatomo-physiologique, mais seulement les fonctions de celle-ci. La réalité anatomique du système auditif est d'une complication inouïe : des organes - boîtes - noires et des interconnexions entre tout ce qui entre dans chacune des oreilles avec ce qui entre dans l'autre; et ceci à divers niveaux (fig.7). Ces interconnexions inextricables ne sont-elles pas justement nées de la nécessité de comparer ce qui se passe à divers niveaux, de faire de la corrélation entre des blocs d'information présents actuellement ou stockés en certains points précis ?

...../

Fig 8.



d'après FLETCHER. Exp. SIVIAN & WHITE 1922 )

Quand une source sinusoïdale tourne de l'avant vers l'arrière de la tête la perception dans les deux oreilles est d'autant plus différente que le son est plus aigu... La "stéréo" c'est l'aigu!

Tout cela est évidemment très simplifié, mais suffisant ici, mon propos étant plutôt de définir une méthode susceptible, comme en stéréophotographie, de mettre en évidence et de rendre mesurable les points communs, les originalités et la sommation des originalités, toutes choses qui permettent de définir objectivement le gain de l'audition stéréophonique, éventuellement d'agir ensuite sur les causes de la forme des deux images présentes respectivement au voisinage de l'oreille droite et de l'oreille gauche. Quelles sont donc ces causes ? C'est ce que nous allons tenter d'analyser.

## VI. CAUSES DES DIFFERENCES ENTRE LES DEUX IMAGES PERCUES EN STEREOPHONIE

Nous aurons à ce sujet une réunion avec l'OEEN de la RADIO TELEVISION BELGE l'an prochain et je n'insisterai donc pas. Mon but n'est pas de dire "telle méthode de prise de son stéréophonique, telle chaîne d'écoute, telle gravure de disque, est bonne ou mauvaise : il s'agit là de problèmes technologiques où je suis tout à fait incompetent et qui fera l'objet d'un autre GAM.

Mon problème commence au voisinage de l'oreille droite et de l'oreille gauche, où les choses sont déjà passablement compliquées. Sans entrer dans le détail, il est nécessaire de donner quelques précisions sur les variables qui ont déterminé la forme des signaux au voisinage des deux oreilles, variables avec lesquelles ont à faire le preneur de son, le technicien de la gravure des disques, le fabricant de chaînes d'écoute.

Un point n'est absolument pas douteux : en aucun cas, l'image acoustique ne sera strictement semblable pour les deux oreilles. Notre perception de n'importe quel événement acoustique sera de toutes façons "stéréophonique", ne serait-ce que par le simple fait que nos deux oreilles ne sont jamais identiques ! Donc même si le signal était le même devant l'oreille droite et devant l'oreille gauche nous n'entendrions pas la même chose de chaque côté !

Ceci étant précisé, il est certain que dans une audition de musique écoutée en direct, dans une salle notre audition est nécessairement "stéréophonique". Ceci appelle plusieurs remarques.

- La salle joue un rôle considérable. Selon ses dimensions, son volume, l'état des surfaces, l'état d'occupation etc... il est bien évident que l'oreille droite d'un auditeur quelconque n'entendra jamais la même chose que l'oreille gauche. Il suffit pour s'en convaincre de boucher alternativement l'une puis l'autre lors d'un concert ! ....
- La place et la disposition des musiciens n'intervient pas moins !
- Le pouvoir directionnel des instruments et leurs caractéristiques spectrales jouent de même un rôle considérable. Nous avons parlé en son temps de ces problèmes (GAM n° 27 avec Jürgen MEYER). La question est encore compliquée du fait que le musicien ne reste pas immobile. Point n'est besoin d'appareillages scientifiques pour observer que la trompette sonne plus aigu dans la direction de son pavillon et que l'intensité et le timbre de l'instrument changent lorsque le musicien l'oriente tout à coup vers le plafond ou vers tel mur réfléchissant ou sourd ....
- La place occupée par l'auditeur conditionne aussi, et parfois considérablement, l'image acoustique perçue par les deux oreilles. Si on considère de plus que l'auditeur ne reste pas immobile non plus, on voit à quel point la notion de perception stéréophonique en salle d'audition normale est difficile à définir. Finalement les auditeurs <sup>en concert</sup> ne parlent jamais de perception stéréophonique....

...../

Ils disent que telle ou telle place est "bonne" ou "mauvaise"; mais ils pensent généralement au filtrage des sons par la salle ou aux échos parasites !

Il convient ici d'ouvrir une parenthèse relativement à une particularité de l'oreille, qui intervient tant en salle qu'en audition de chaîne stéréophonique normale : c'est celui du pouvoir directionnel de l'oreille.

- Le pouvoir directionnel de l'oreille. Le son entre dans l'oreille par un conduit assez long et étroit. Il est évident qu'un phénomène acoustique produit dans la direction du conduit, sera nécessairement perçu comme plus intense. Ceci est d'autant plus marqué qu'il s'agit de sons de fréquence élevée, très directifs. Une expérience facile à faire consiste à exciter un diapason à fourche et à le faire passer devant l'oreille (le plan de vibration étant dans la direction du conduit). On a le sentiment d'un angle très étroit (quelque 10 ou 15 degrés) où le son est beaucoup plus intense ! Des chercheurs ont fait sur ce point des travaux, en particulier SIVIAN et WHITE, dont nous donnerons une figure qui résume l'essentiel (fig.8).

On propose à un sujet une gamme de sons sinusoïdaux allant du grave vers l'aigu. Prenons l'un de ces sons, par exemple 300 Hz. On fait tourner la source en partant de l'avant du sujet (face aux yeux) pour aller graduellement vers l'arrière de la tête. On vérifie à l'aide de moyens appropriés classiques en physiologie auditive que la sensation d'intensité ne varie guère pour cette fréquence grave, ni pour l'oreille droite ni pour l'oreille gauche, quelle que soit la position de la source. Par contre, si on observe ce qui se passe à 10 000 Hz il n'en va pas de même. Quand la source passe devant le conduit, le gain d'intensité à l'oreille droite est de l'ordre de 10 décibels, mais l'oreille gauche perd graduellement, pendant le même temps, en raison de "l'ombre" de la tête, quelque 20 décibels. L'ensemble de ces diagrammes à diverses fréquences montre que la localisation angulaire dépend étroitement du pouvoir directionnel de l'oreille et que l'effet spécial qui en résulte et qui fait partie de la sensation stéréophonique dépend de la structure physique des sons écoutés. Nous l'avons déjà précisé, mais cela devient évident ici !

Lorsqu'il ne s'agit de musique en "conserva", écoutée avec casque ou haut-parleur, de nombreuses variables viennent encore modifier les phénomènes acoustiques au voisinage de l'oreille :

- C'est d'abord la technologie de prise de son. En stéréophonie on dispute depuis longtemps sur la "méthode optimale" et chacun préconise la sienne : tête artificielle à deux microphones orientés de part et d'autre pour simuler la réalité humaine; disposition de microphones en nombre variable et en des points variés, choix du type de microphones et distance de ceux-ci aux sources etc... etc... Il est certes difficile de dire que telle méthode est bonne et telle autre mauvaise. Tout dépend de ce qu'on en fait; tout dépend aussi de l'auditeur, de son conditionnement et de son sens esthétique. Les mots "bon" ou "mauvais" n'ont vraiment guère de sens. Telle méthode honnie par les uns est portée aux nues par les autres. Est "bon" d'abord ce à quoi on est habitué. Un preneur de son, un auditeur est conditionné - à son insu le plus souvent - à tels ou tels effets qu'il recherche systématiquement. Mais un autre auditeur ayant une audition, un audiogramme et des habitudes différents, émettra sur le même phénomène acoustique des avis tout à fait différents, voire opposés. On pourrait épiloguer longuement sur ces questions que je connais bien pour avoir été aux prises avec elles au sujet de l'appréciation de la qualité des instruments de musique !
- Bien entendu les conditions d'écoute jouent considérablement comme tout transducteur, un casque introduit des distorsions des signaux. Si on écoute cependant au casque, on a, au mieux, l'idéal que se proposait le preneur de son et le technicien lors de la gravure du disque par exemple. Si on écoute en salle, on passe nécessairement

...../

rement par des amplificateurs, des haut-parleurs, et on "ajoute" la salle au phénomène .... Si la chaîne coupe au départ tout l'aigu et si on s'intéresse à la localisation gauche-droite, il est évident que le problème sera mal résolu : en localisation angulaire c'est l'aigu qui détermine le phénomène! ... Et puis il y a le pouvoir directionnel des haut-parleurs ! Ceux-ci rayonnent l'aigu chacun à sa façon ! Il y a l'orientation des haut-parleurs par rapport à l'axe des oreilles de l'auditeur. Bien entendu si la salle comporte des cloisons très réfléchissantes l'aigu destiné à l'oreille droite peut être plus important à gauche etc... Toutes ces variables interagissant les unes avec les autres, on ne peut manquer d'admettre que le problème de l'audition stéréophonique en salle est bien compliqué. La notion de bruit de fond ambiant (qui n'existe plus au casque) vient encore tout modifier !

Après bien des vicissitudes, voici donc deux images acoustiques au voisinage de mes oreilles. Ici, les choses sont ce qu'elles sont, en tout cas différentes pour chacune des oreilles. C'est ici que commence vraiment mon propos. A partir de ce qui a été vu à propos de la stéréoscopie, je voudrais repenser ma méthode de corrélation optique et tenter de l'adapter au problème de la perception stéréophonique. La chose doit être possible. En effet, je dispose d'une méthode de visualisation des événements sonores réels : c'est celle du sonographe. Le sonogramme me permet de relever les images acoustiques correspondant à des événements sonores réels (extraits de parole, de musique etc...) et nous savons que ces images sont significatives. Je puis donc à loisir relever ce qui se passe au voisinage de chacune de mes oreilles lors d'une écoute stéréophonique (bonne ou mauvaise). Je puis aussi relever directement les "images" gravées sur les deux voies d'un même sillon.

Je dispose d'autre part d'une méthode de corrélation optique me permettant de définir les points communs entre deux images, les originalités respectives des deux voies stéréophoniques, l'originalité globale, bref l'apport, le gain en stéréophonie. Pourquoi ne pas tenter de faire sur des "images" acoustiques, des sonogrammes les mêmes opérations que celles qui furent proposées plus haut avec des couples stéréoscopiques ?

## VII. METHODE DE CORRELATION OPTIQUE APPLIQUEE A DES "IMAGES" STEREOPHONIQUES

Nous disposons d'une chaîne stéréophonique à deux baffles dans notre salle de réunion. Il nous a semblé intéressant de faire sur ce cas particulier un certain nombre d'expériences que je voudrais décrire à présent et qui me permettront de tirer des conclusions relativement à mon sujet.

La chaîne électronique et les baffles que nous utilisons sont de très bonne qualité technologique. La place des haut-parleurs n'est certainement pas idéale, car ceux-ci sont dans un coin, trop près des murs et trop surélevés.

La salle du GAM n'est pas une bonne salle de musique; elle est trop sèche. Mais de ce fait, elle met mieux en relief, par absence de réverbération, les particularités acoustiques des événements sonores qu'on y écoute.

Le jour de notre réunion, notre salle est pleine. Pour les expériences dont je vais parler la salle était pratiquement vide.

Les exemples qui suivent se rapportent donc à un cas particulier. Aussi bien n'ai-je aucune intention de chercher à tirer de ces expériences des conclusions absolues sur la qualité de la prise de son encore moins de formuler des jugements esthétiques. Je sais obtenir des "images" des phénomènes acoustiques dans certaines conditions déterminées; je ne sais pas dire ce que tel ou tel auditeur, avec son système auditif

...../

et son conditionnement personnel pense des images que je vais montrer : tout cela n'est pas mon affaire ici.

Mon propos est la mise au point d'une méthode d'étude des problèmes de la stéréophonie. Cette mise au point a débuté par un certain nombre de recherches préparatoires, dont voici l'essentiel.

1°) J'ai commencé par écouter au casque un assez grand nombre d'échantillons sur disques stéréophoniques pour choisir quelques uns d'entre eux. J'ai utilisé les disques que publie régulièrement tous les ans l'organisateur du Festival International du son (M. BATAISSIER) et qui sont intéressants dans la mesure où ils donnent des extraits d'oeuvres très variées. La technologie de prise de son n'a ici aucune espèce d'importance : il s'agit d'un cas particulier. Mais la méthode que je propose permet d'envisager ultérieurement de faire des recherches comparatives objectives sur d'autres techniques et de les comparer de façon raisonnable entre elles.

Cette écoute préalable m'a conduit à sélectionner un certain nombre de passages qui me semblaient particulièrement significatifs de la sensation stéréoscopique : effet de localisation latérale, de "netteté de contours", de "profondeur", d'espace, etc... Je ne donnerai ici qu'un exemple bien entendu parmi d'autres que j'ai présentés à la réunion du GAM.

- 2°) J'ai ensuite relevé soigneusement sur magnétophone professionnel stéréo (NAGRA IVS) les deux voies d'une même piste, au passage choisi.
- 3°) J'ai installé alors la platine tourne-disque (LENCO) dans la salle de réunion du GAM (vide) et j'ai disposé au milieu de la salle le magnétophone stéréophonique avec deux microphones, l'un orienté vers le haut-parleur de gauche, l'autre vers le haut-parleur de droite (Micros Sennheiser MD 421 : directionnels) et j'ai enregistré en stéréophonie ce qui sortait de la chaîne en fonctionnement stéréophonique normal.
- 4°) Simultanément, un magnétophone monopiste (micro directionnel orienté vers l'avant, entre les deux haut-parleurs) enregistrerait l'intégralité de toutes les expériences, dont je donne un exemple unique ici, un passage de "IBERIA".
- 5°) Le passage en question était ensuite repris, les deux voies étant mélangées par l'amplificateur et le même signal étant diffusé par les deux haut-parleurs (fausse stéréophonie). On enregistre toujours le résultat au milieu de la salle, en stéréo et en mono.

J'avais donc à ma disposition le même échantillon sonore tel qu'il est sur le disque, tel qu'il est entendu en stéréophonie par un auditeur placé au milieu de la salle, tel qu'il serait entendu en écoute monophonique dans chaque cas, et tel qu'il est entendu avec deux oreilles en fausse stéréophonie.

- a) Prenons d'abord les "images acoustiques" gravées sur le disque, sans les distorsions obligatoires qu'apportent un casque, une chaîne d'écoute, les haut-parleurs, la salle, etc... (fig.9).

Les deux images : oreille gauche - oreille droite, sont très différentes. On peut présumer que leurs taux d'originalités respectifs seront importants et que l'écoute d'une piste ou de l'autre sera très différente (ce qu'on vérifie facilement). Il s'agissait ici de musique populaire où des danseurs s'accompagnent de castagnettes. Visiblement, les instruments étaient placés dans des endroits très différents (à moins que le preneur de son n'ait fait une "cuisine"

...../



atteignant le même résultat) : la trompette est présente de façon comparable sur les deux figures (haut - gauche et droite) elle était sans doute au milieu! Par contre, à gauche, émergent de façon particulièrement nette les violons et les castagnettes. A droite castagnettes et trompette sont presque inexistantes; par contre la guitare émerge très nettement. Toutes ces impressions se confirment par l'écoute au casque.

Si nous admettons à présent le principe d'un traitement de l'information contenue dans ces deux images de la façon préconisée, voici ce que nous obtenons :

- par manipulations photographiques j'extrais les points communs, ceux qui existent aussi bien dans l'image gauche que dans l'image droite. Ils sont assez nombreux dans le grave, en dessous de 3000 Hz. Ceci confirme que de toutes façons, c'est l'aigu qui fait la stéréophonie ! ...
- Ôtons à présent ces points communs des images originales G et D afin de mettre en évidence l'originalité respective de chaque voie (oG et oD). Il est clair que l'originalité de la voie gauche par rapport à la droite, vient des violons et des castagnettes ! L'originalité de la voie droite est plus faible : elle se localise dans le grave de la guitare.
- additionnons à présent les originalités gauche et droite (oG + oD) et nous obtenons la somme des originalités (s.o), qui représente en fait le gain d'information si on écoute ce passage au casque, à deux voies séparées. Insistons sur le fait que le mot "gain" ne veut pas dire nécessairement "plus beau" ....

Il va sans dire que les points communs et les originalités peuvent être mesurées sans complications par cellule photo-électrique; mais on peut aussi quantifier et numériser ces images et faire des mesures automatiques à l'aide d'un ordinateur et de programmes adéquats.

Une observation intéressante : si le preneur de son a voulu exploiter les effets de localisation angulaire, il a bien atteint son but, et on en a une preuve objective, mesurable. On vérifie aussi, dans la partie grave, inférieure à 3000 Hz l'existence de sortes de lignes de contour très nettes des formes : un des bénéfices et non des moindres de l'écoute stéréophonique.

Si l'on désire mesurer le gain réel, relatif, en audition stéréophonique de ce disque, il suffit de faire le rapport p.c/s.o. Plus ce rapport est élevé, plus on gagne en information. Ce qui ne veut pas dire, répétons-le encore, que l'audition sera "meilleure" : le jugement dépend de ce que recherche l'auditeur en fonction de son conditionnement et des particularités de ses deux oreilles. Cependant on vérifie qu'il est possible de raccorder parfaitement les sensations éprouvées à l'écoute analytique de ce passage avec les résultats de ces 6 figures (si on sait les dépouiller, bien entendu).

Que se passe-t-il à présent si on écoute le même passage en stéréophonie dans la salle vide du GAM, avec la chaîne dont nous disposons ?

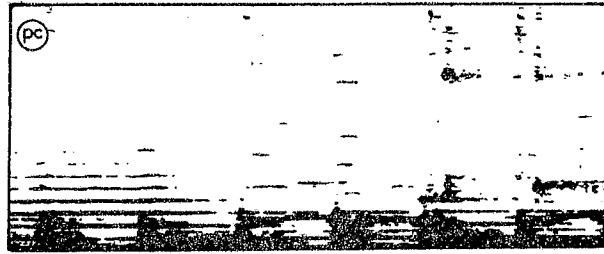
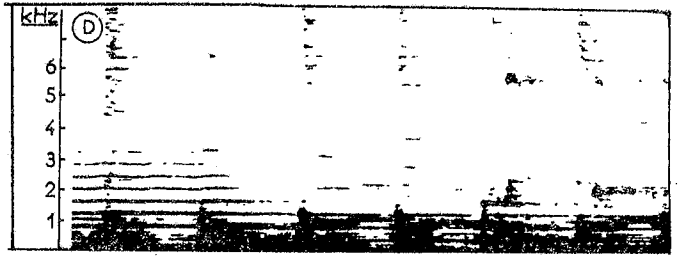
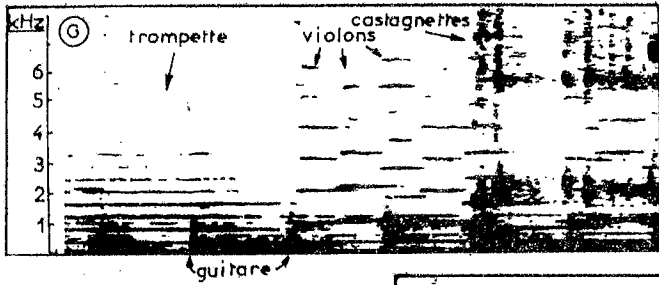
b) Ecoute en salle (fig. 10) . Prenons la bande enregistrée dans la salle à partir de l'écoute sur platine, et tirons les sonagrammes de ce qu'ont enregistré respectivement le microphone de gauche et celui de droite (fig.9). Les manipulations restent les mêmes que ci-dessus bien entendu ! On vérifie cependant les points suivants .....

A cause des murs de la salle qui réfléchissent partiellement vers l'oreille droite ce qui était destiné à la gauche, et inversement, on voit d'emblée que

...../

Fig 9

IBÉRIA  
écoute  
au  
casque



1s.

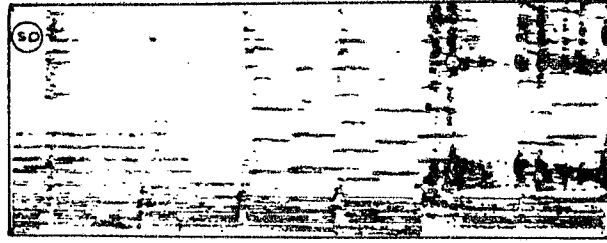
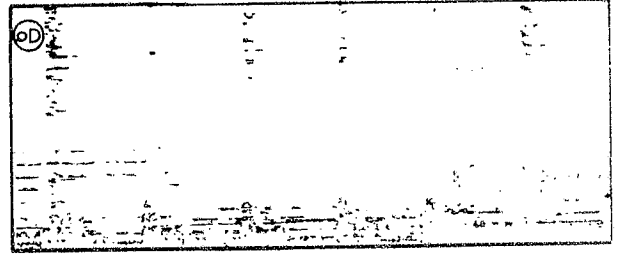
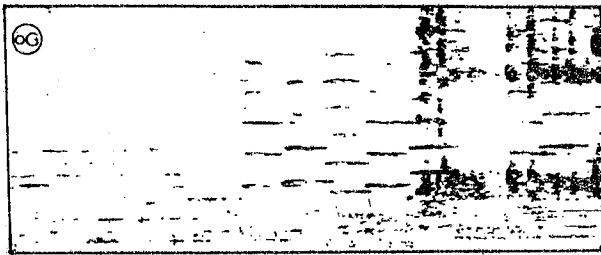
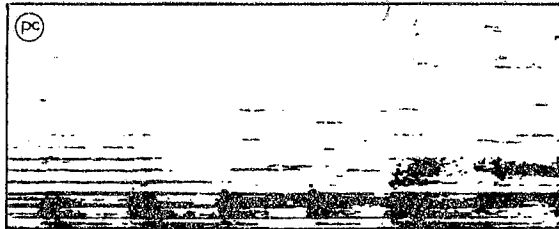
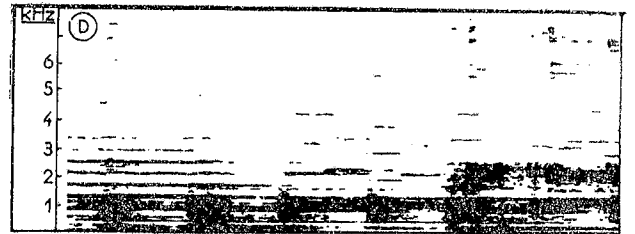
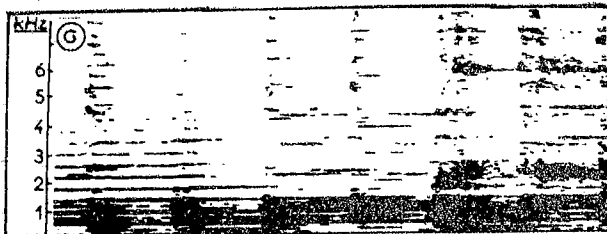


Fig 10

IBÉRIA  
stéréo  
en  
salle



1s.

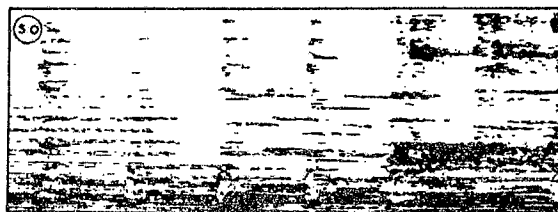
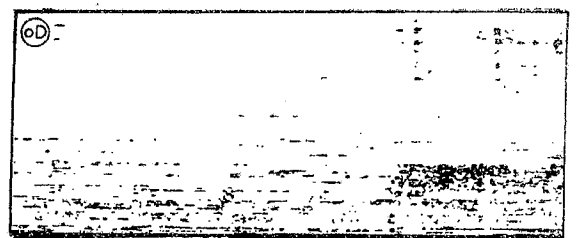
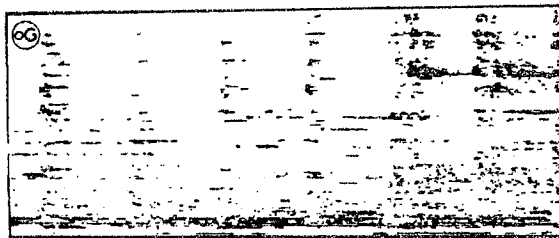
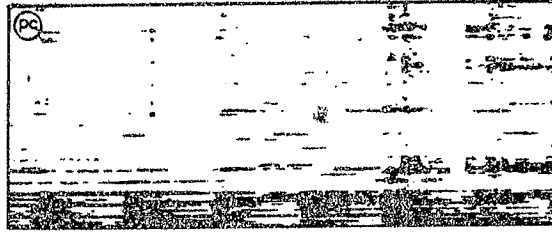
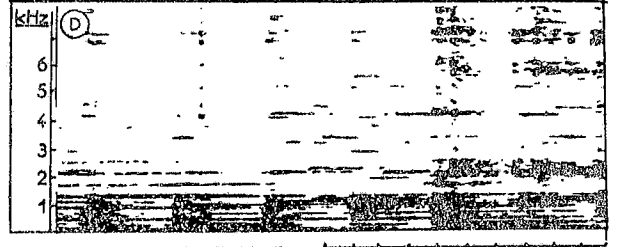
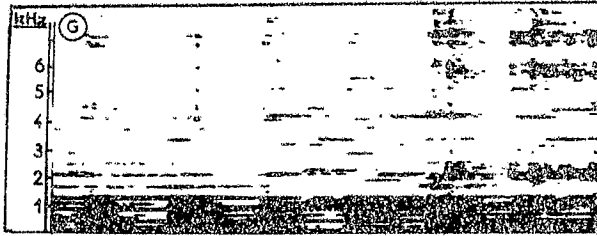


Fig 11

IBÉRIA  
fausse  
stéréo



1s.

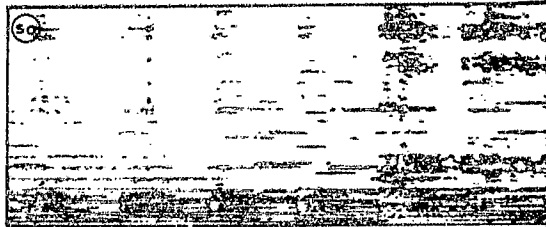
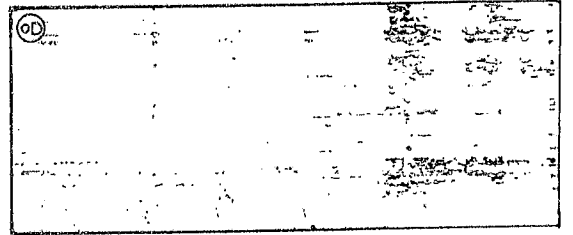
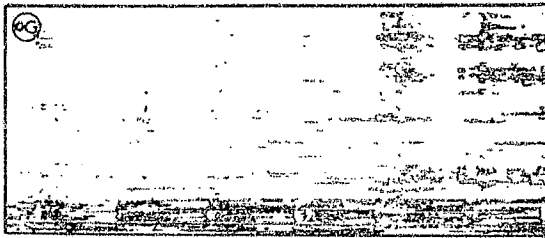
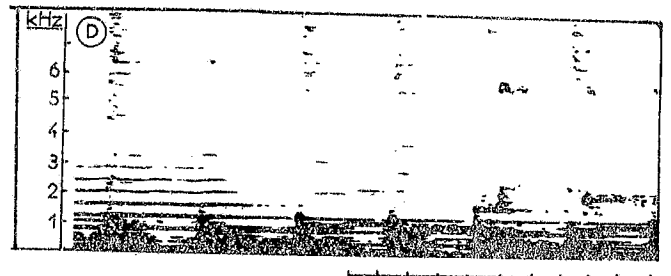
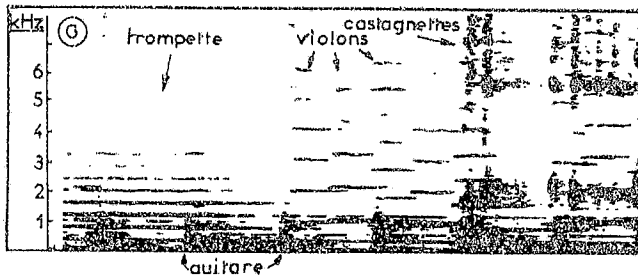
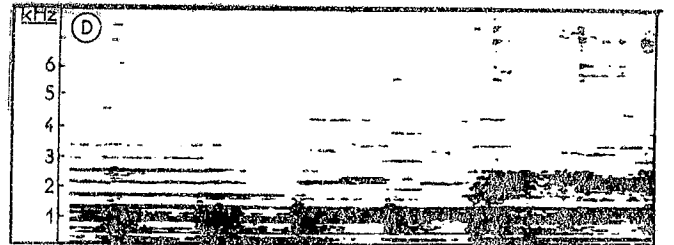


Fig 12

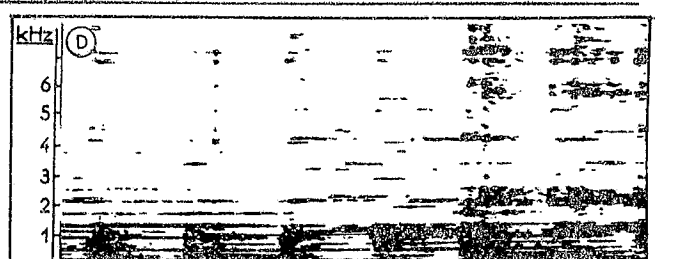
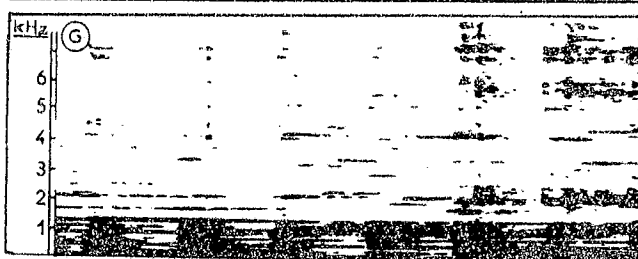
IBÉRIA  
écoute  
au  
casque



IBÉRIA  
stéréo  
en  
salle



IBÉRIA  
fausse  
stéréo



les deux images originales gauche et droite sont beaucoup moins différentes que tout à l'heure. Les violons apparaissent aussi à droite, ainsi que les castagnettes; la guitare est très "présente" aussi sur l'image gauche. Tout cela était prévisible, mais on a un document objectif où tout est mesurable.

Les points communs en sont bien entendu plus nombreux ! et l'originalité de la droite par rapport à la gauche (et inversement) se trouve diminuée d'autant bien entendu. Lorsqu'on additionne les originalités, on observe un phénomène assez curieux : les formes acoustiques sont cernées de traits très fins ! La notion de "netteté de contours" apparaît dans la somme des originalités et devient même plus importante que le taux d'originalité global de l'apport stéréo (p.c/s.o).

Ces images, si on sait les dépouiller, visualisent bien toutes les sensations particulières qui différencient l'audition au casque de l'audition de la même chose en salle ! Dans ce dernier cas, ce qu'il y a en plus dans l'originalité globale entre les vues G et D provient de l'apport acoustique du matériel électro-acoustique de la chaîne (ampli et baffles) et de la salle. Finalement on retrouve presque autant d'originalité en écoute en salle qu'en écoute au casque, mais elle est d'une autre nature. On perd un peu ce que "voulait le preneur de son" (effet de localisation angulaire en particulier) mais on "gagne" ce qu'apporte la chaîne d'écoute et la salle. Le mot "gagner" ne signifiant pas nécessairement que ce gain d'information sera apprécié comme désirable esthétiquement. Ce qui est désirable esthétiquement n'est pas inscrit dans le signal acoustique mais dans le cerveau particulier de chaque auditeur... En tout cas, on sait de quoi on parle et on sait le mesurer, le définir par des chiffres.

- c) Mélangions à présent les deux voies et diffusons le résultat dans la salle, où nous "l'écoutons" avec deux microphones d'un magnétophone stéréophonique. C'est la "fausse" stéréophonie (fig. 11). Tirons une fois de plus les sonagrammes gauche-droite (G et D) et faisons nos manipulations photographiques habituelles.

A présent les deux voies sont très similaires : castagnettes et violons existent en "quantité" égale à droite et à gauche; les points communs seront beaucoup plus nombreux qu'en écoute casque ou en écoute stéréo normale; mais les deux images ne sont tout de même pas tout à fait identiques. Lorsqu'on extrait le taux d'originalité de chacune, on ne peut manquer d'être frappé par l'allure des images (oG et oD) où les "formes" acoustiques apparaissent, mais cernées très finement ! Ces cernes deviennent encore plus nets lorsqu'on additionne les deux originalités (s.o) : il y a un gain manifeste d'originalité mais qui n'est visiblement pas de la même nature que dans le cas de la stéréophonie normale.

L'explication de ces cernes est aisée. Le signal rayonné par les deux haut-parleurs est identique. La salle, assez sèche et amortie, mais cependant légèrement dissymétrique du point de vue acoustique, rajoute un "petit rien" ici et là du côté gauche; un autre petit rien à droite; et la somme de ces "petits riens" correspond précisément à ces lignes très fines. Ce gain en finesse de l'image rappelle tout à fait celui que nous avons vu plus haut en stéréoscopie (la marchande de ballons) et les "formes acoustiques" se détachent mieux du fond à cause de ces cernes.... Le gain en fausse stéréophonie est donc évident et avait été remarqué plus d'une fois, sans qu'on n'en ait fourni une preuve raisonnable. En voici une, et on retiendra que ces cernes sont significatifs de la salle d'audition. On a donc un moyen pratique pour mesurer globalement le gain qu'apporte la salle en audition, et il est possible de traiter ce problème par voie informatique, de comparer des salles en y rayonnant les mêmes événements acoustiques etc...

Résumons par trois images :

Fig.12 . On a superposé les images perçues respectivement par l'oreille gauche et droite pour l'audition au casque, la vraie et la fausse stéréo. Les différences analysées ci-dessus apparaissent clairement, et il n'est pas nécessaire d'y revenir, sauf pour dire que la comparaison visuelle est plus immédiate et plus évidente ici.

Fig.13 . On compare la somme des originalités dans les divers cas (casque, stéréo et fausse stéréo en salle). Cette figure se passe de commentaires, elle résume ce qui a été dit plus haut et montre tout l'intérêt d'étudier ces problèmes par une méthode objective ou tout peut être chiffré.

Si on faisait des recherches statistiques sur le conditionnement auditif "normal" dans un groupe sociologique donné, on pourrait sans doute en tirer à partir des mesures en question, des conclusions sur la "qualité" appréciée par ce groupe sociologique et orienter de façon plus rationnelle la "production" de la stéréophonie au niveau de la prise de son, du pressage des disques etc... Mais c'est là de la prospective !

Fig.14. Perte en monophonie. Avec des manipulations similaires aux précédentes, j'ai comparé l'écoute stéréophonique et monophonique. Je n'insiste pas sur les détails : il s'agit toujours, bien entendu du même passage. Comme il a été précisé plus haut, l'enregistrement monophonique se faisait avec un microphone directionnel orienté vers l'avant et dirigé entre les deux haut-parleurs. Comme ces derniers sont nécessairement directionnels, pour l'aigu en particulier, et que le microphone est cardioïde, on perd évidemment beaucoup dans l'aigu, ce que la figure montre avec évidence. Il va sans dire que si l'on avait orienté autrement le microphone, par exemple en le dirigeant vers l'un des haut-parleurs; ou bien si on avait utilisé un microphone omni-directionnel, les résultats auraient été différents. Cette image montre en gros ce que perdrait une personne sourde d'une oreille en écoutant une diffusion stéréophonique normale en salle.

Les recherches que nous avons entreprises n'en sont qu'à leur début, et on n'a ici qu'un aperçu de quelques résultats obtenus qui vont cependant nous permettre de conclure.

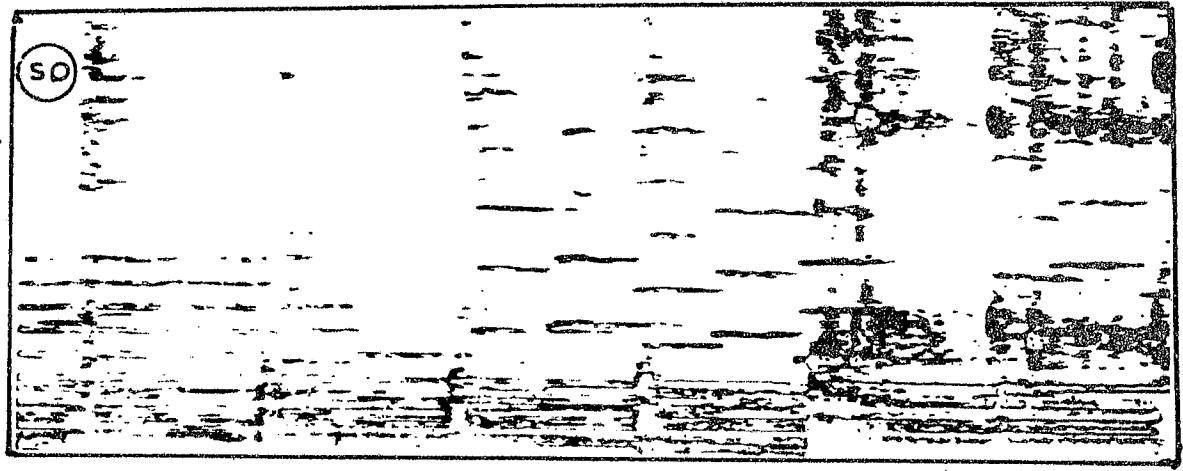
## VIII. CONCLUSIONS

La stéréophonie a beaucoup fait parler d'elle ces deux dernières décennies. Le problème n'a pas toujours été correctement posé. Pour beaucoup la stéréophonie représente encore le repérage angulaire de sources distinctes; pour d'autres elle ne représente un "gain" que dans la mesure où l'écoute monophonique de musique "en conserve" sort d'un même haut-parleur, d'un même point, ce qui est insolite si on est habitué à écouter une formation, un orchestre où les sources sont localisées en des points divers de l'espace. Le gain de la stéréophonie serait alors celui d'une localisation spatiale des sources. Ici les points de vue divergent. Pour certains deux haut-parleurs suffisent pour donner la sensation d'espace : il suffirait de régler la balance de façon adéquate pour retrouver la sensation qu'on a dans une salle d'audition normale ; pour d'autres il faut réaliser une véritable "nappe" sonore homogène dans laquelle les auditeurs baigneraient tous, en éprouvant une sensation identique etc... Il s'agit manifestement de points de vue très partiels et lacunaires. La sensation stéréophonique est une réalité très complexe dont nous avons tenté ici de définir les variables, réservant pour une réunion ultérieure les informations précises sur cette question.

...../

Fig 13

vraie  
stéréo.



fausse  
stéréo.

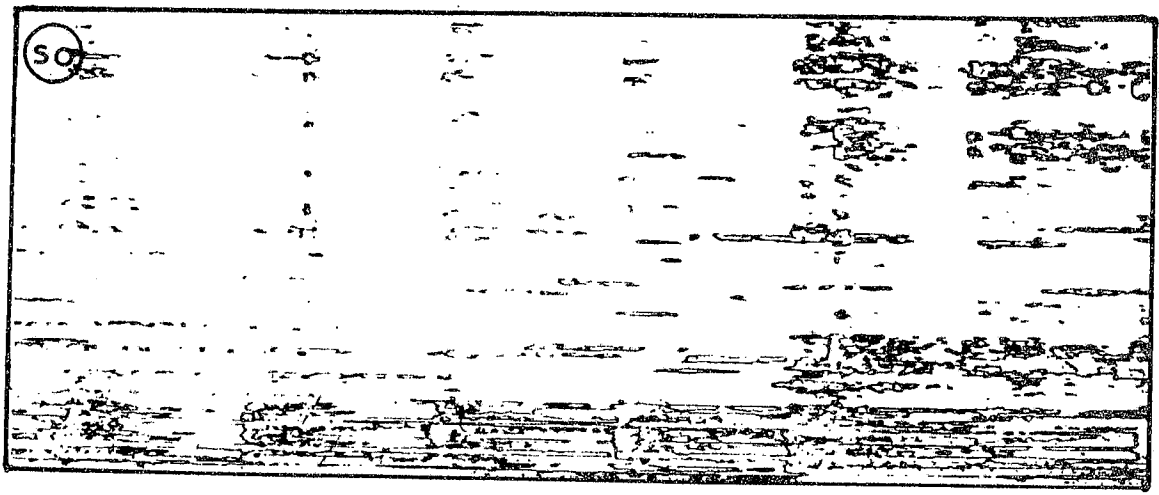
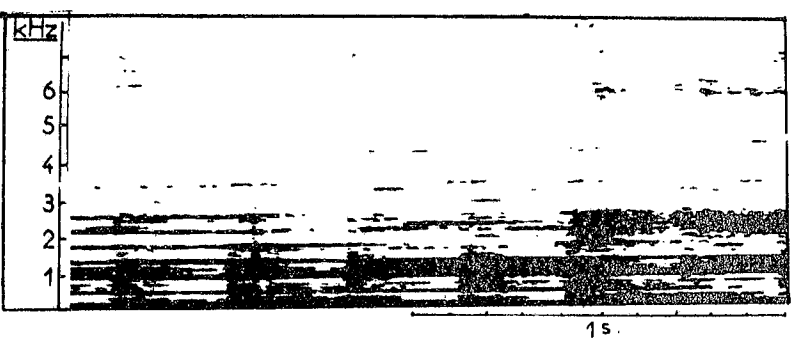


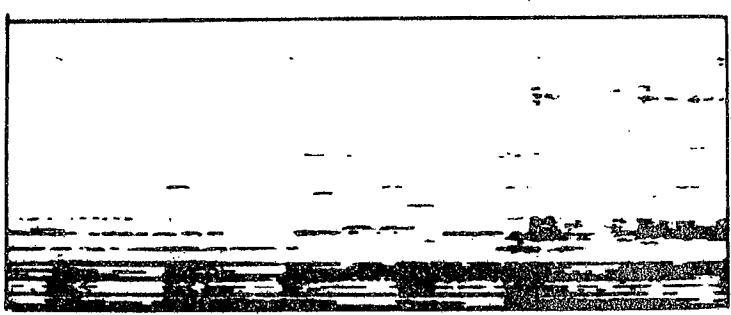
Fig 14

Cette figure illustre ce que l'on perd en audition mono-phonique... et qui devient mesurable.

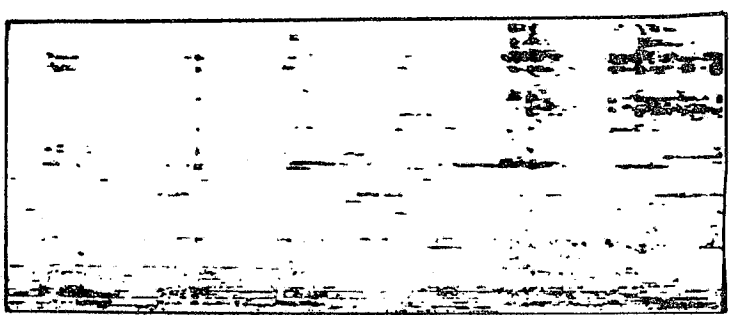
diff. stéréo  
enr! mono



diff. fausse stéréo  
enr! mono



perte en  
mono



Un point est absolument certain : l'effet stéréophonique ne peut résulter que d'une perception différentielle de deux phénomènes acoustiques différents au niveau de l'entrée des <sup>deux</sup> oreilles. La forme de ces phénomènes résulte évidemment des maillons intercalés entre les sources sonores normales et les deux oreilles de l'auditeur. Les responsables du choix de ces maillons (c'est-à-dire de la forme des phénomènes acoustiques près de l'oreille) sont le preneur de son et l'auditeur.

- le preneur de son choisit son matériel, la salle, la disposition des sources et des microphones etc...! Mais quoiqu'il fasse, il ne peut que régler la forme (en la déformant nécessairement) des phénomènes acoustiques objectifs situés au niveau des oreilles de l'auditeur.
- l'auditeur (en écoute privée) choisit sa chaîne, son local, la disposition des baffles <sup>et place d'écoute</sup> etc..., qui rajoutent leurs distorsions propres.

En dernière analyse, il en est en stéréophonie comme en appréciation qualitative des instruments de musique. La plupart des disputes en ce domaine vient de ce que les spécialistes utilisent une terminologie "artistique", floue, qui a un sens différent "dans la tête" de chacun et que personne ne s'est vraiment donné la peine de définir clairement et objectivement : "ambiance".... "espace sonore" .... "profondeur" ... "nappe sonore".... "présence" etc... etc... Personne non plus apparemment, ne s'est donné la peine de définir objectivement comment se présentait la musique ou la parole (et non des artefacts) au niveau des oreilles de l'auditeur. Il existe pourtant un moyen, et nous avons assez insisté depuis 10 ans sur son importance, sur sa capacité de fournir des "images acoustiques" significatives de la perception. Ce moyen c'est le sonographe.

Nous pouvons savoir avec toute la précision requise comment se présentent ces images aux points importants. Ce qui détermine leur forme n'est pas mon propos ici ! Mon propos était exclusivement, et j'ai insisté plusieurs fois sur ce point, de chercher, à partir de la stéréoscopie et de la stéréophotographie, sur lesquels j'ai eu l'occasion de réfléchir longuement autrefois une méthode optique permettant d'isoler deux images objectives. Images acoustiques ou optiques : c'est la même chose du point de vue du traitement de l'information. Ce qu'elles ont en commun et ce qu'elles ont d'original l'une par rapport à l'autre et j'ai cherché à définir la somme des originalités. Comparée à l'image des points communs, celle-ci définit l'apport d'information physique, acoustique de l'audition stéréoscopique par rapport à l'audition monophonique. Cet apport peut être chiffré : on a des documents objectifs ou tout est mesurable. Les résultats peuvent également être quantifiés et numérisés, donc traités par ordinateur si on dispose d'idées claires sur les traitements à prévoir. Ces idées nous les avons matérialisées sous l'aspect d'un modèle fonctionnel stéréophonique qui prédit les opérations à faire, les programmes à réaliser.

Il n'est pas question de prétendre pouvoir dire à partir de recherches du type de celles dont je propose ici les résultats : "tel système de prise de son, telle chaîne, telle salle est "meilleure" ou moins bonne. Par contre il est question de dire : dans l'audition stéréophonique les images captées par nos deux oreilles sont différentes; il est question de chiffrer les différences et les ressemblances, de définir des taux de similitude, des taux d'originalité, bref des grandeurs permettant d'aborder les problèmes de la stéréophonie de façon raisonnable et rationnelle. L'intérêt essentiel de la méthode est prospectif; mais on peut dès à présent envisager, moyennant une entrée son ou un "graphic input" sur ordinateur, de traiter l'information relative aux couples stéréoscopiques ou stéréophoniques.

Beaucoup de musiciens m'ont posé la question : "Que gagne-t-on musicalement avec la stéréophonie ? Cela vaut-il la peine de changer mon installation monophonique et de racheter une collection de disques ? etc..". On ne peut répondre à ceux-là qu'une chose. Si vous êtes musicien conventionnel, que vous écoutiez Mozart et

...../

Beethoven, vous gagnerez très peu avec la stéréophonie. Si vous vous intéressez uniquement à la structure musicale des œuvres, à la partition, au style de composition, vous ne gagnerez rien. Si vous êtes friand d'effets sonores : localisation des sources, etc... vous gagnerez beaucoup, mais vous vous lasserez assez vite de ces effets, qui sont d'importance secondaire lorsqu'on écoute une œuvre musicale de valeur, riche en information. Si vous êtes intéressé par les musiques d'avant-garde, par les spectacles où le musicien se promène dans la salle et le spectateur sur la scène, la stéréophonie peut vous apporter une sensation d'espace et de déplacement des sources. S'il n'y a que ces effets dans une œuvre, elle est nécessairement d'intérêt limité. Un compositeur qui n'a rien à dire à beau se faire enregistrer en stéréophonie : l'intérêt d'une œuvre musicale n'est manifestement pas là ! Si le compositeur parle pour des sourds qui n'ont pas appris son langage, ce n'est pas davantage la stéréophonie qui résoudra son problème... D'autres points peuvent interférer avec ceux qui précèdent que l'on pourrait résumer ainsi : quelle somme consentez-vous à payer le plaisir supplémentaire que vous procurera la stéréophonie ? A chacun d'y répondre selon l'état de sa bourse et selon ce qu'il estime important dans l'écoute. En particulier on pourrait demander aux questionnaires : écoutez-vous la musique ou la chaîne ? L'information sémantique ou esthétique de la musique ? Chaque personne est ici un cas particulier ! Il faudrait bien sûr consacrer tout un chapitre à la tétraphonie dont on parle beaucoup ces derniers temps... Il est sans doute encore trop tôt pour formuler sur ce point des avis définitifs. Après avoir assisté à plusieurs démonstrations, je puis tout juste dire que les mêmes problèmes se posent ici qu'en stéréophonie avec cependant une question : l'homme n'a que deux oreilles, d'orientation fixe ! Que signifie alors la tétraphonie ? On peut toujours, bien entendu, jouer sur les problèmes de localisation angulaire, "faire sortir" de la musique derrière, en dessous, au dessus. La localisation spatiale est d'un intérêt limité si l'œuvre est riche en information ; si elle est pauvre, on peut sans doute arranger un peu les choses pour ceux qui sont friands d'effets sonores inédits. Mais on risque de tomber dans des excès de technicité assez rapidement, qu'apprécient seulement ceux qui n'écoutent pas la musique et ceux qui ont mis un prix élevé pour acquérir la chaîne à la dernière mode ! On ne peut guère être optimiste pour la tétraphonie, mais enfin l'avenir répondra à la question. Je pense que de toutes façons on gagnera moins en passant de la stéréophonie à la tétraphonie qu'en passant de la monophonie à la stéréophonie. Ce n'est là qu'un avis personnel, bien sûr, puisque de toutes façons je n'ai pas à prendre parti dans les querelles d'école et d'esthétique.

Finalement on peut retenir des propositions que j'ai faites plusieurs aspects, intéressants à plus d'un titre :

- J'ai proposé une méthode analogique permettant d'étudier les mécanismes de traitement possible entre deux images, acoustiques ou optiques.

- Sous jacent à cet aspect, il existe un aspect mathématique du problème, qui pourrait séduire un spécialiste de la théorie des ensembles.

- L'aspect le plus important me semble être la possibilité d'un traitement similaire par ordinateur ; ce qui pourrait accessoirement nous fournir le modèle d'une simulation de la perception stéréophonique et de la perception acoustique tout court, dont nous avons tellement besoin et que la psycho-physiologie actuelle ne nous apporte guère actuellement. Je pense qu'il y aura des développements bientôt dans ce sens puisqu'une entrée son pour l'ordinateur de l'IMSIT est en construction au Laboratoire de Mécanique (M. SIESTRUNCK), qu'une entrée "image" y existe déjà et qu'il se trouvera peut-être prochainement des personnes pour accepter l'idée qu'un tel travail est intéressant, d'une façon très générale, parce qu'il est susceptible de déboucher sur diverses applications pratiques sur lesquelles nous reviendrons peut-être quelque jour !

LEIPP

24 Juin 1972



DISCUSSION

M. LEIPP - J'ai tenté de vous présenter une approche originale des problèmes de la perception de l'effet stéréophonique. Sans doute avez-vous de nombreuses questions à poser. Si je ne puis vous répondre, nous avons parmi nous plusieurs spécialistes de la prise de son stéréophonique qui sont sûrement tout prêts à vous apporter des informations satisfaisantes....

M. GEAY - N'a-t-on pas mélangé deux problèmes différents ? Celui du relief et de la spatialisation de la musique ?

M. LEIPP - Du point de vue auquel je me place, c'est-à-dire dans la mesure où je m'occupe exclusivement du fait qu'il existe deux images acoustiques différentes devant nos deux oreilles et du traitement mental ultérieur de ces deux images, il n'y a strictement aucune différence entre le problème de la stéréophonie et de la musique spatiale.

M. GEAY - Vous dites que la meilleure stéréophonie est celle qui donne le plus de différence entre les deux images...

M. LEIPP - Je ne prétends en aucune manière cela; je ne dis pas que ceci est "meilleur" ou cela "mauvais"; je dis qu'il y a un gain d'originalité variable dans les divers cas, et je montre qu'on peut le mesurer en proposant une méthode originale. Les jugements esthétiques ne sont absolument pas mon affaire; je croyais d'ailleurs l'avoir clairement précisé.

M. LELOUX - En tant que preneur de son je précise que je ne règle jamais ma prise de son au casque; ce qui arrive donc sur la gravure droite ou gauche d'un disque ne m'intéresse absolument pas du tout. Ce qui m'intéresse, c'est ce que nous entendons avec nos oreilles dans le local de prise de son. Alors tout votre raisonnement est absolument faux. Si vous réussissez à réaliser de fortes différences de voies en gravure, cela m'est tout à fait égal. Votre point de départ est mauvais. Vous avez affirmé que c'est au casque que le résultat est le meilleur.

M. LEIPP - J'ai déjà répondu à M. GEAY que ce qui m'importe est le taux d'originalité, différent au casque, dans le local, en fausse stéréophonie et les cas dont j'ai parlé sont exclusivement des prétextes pour définir clairement la méthode de traitement d'information que je préconise et qui devrait permettre de mieux comprendre les mécanismes de l'intégration "stéréophonique" des événements sonores en général. J'ai bien averti dès le départ que je prends des cas particuliers tels qu'ils sont et que je raisonne à partir d'eux sans me soucier en aucune manière de la technologie électro-acoustique ou des méthodes de prise de son. Mon problème commence au niveau des deux oreilles, où je prends les choses telles qu'elles existent pour des cas particuliers donnés.

M. LELOUX - Lorsque nous écoutons deux haut-parleurs, les deux oreilles entendent les deux haut-parleurs, et nous n'avons pas du tout à faire l'analyse de chacune des deux oreilles; elles entendent ensemble ce qui part de gauche et aussi de droite.

M. LEIPP - Je ne dis pas que nous faisons l'analyse consciente de chaque signal présent aux deux oreilles; je dis que notre cerveau réalise manifestement des opé-

M. LEIPP (suite) - rations de corrélation et que la sensation finale, la somme des originalités, qui est l'essence de la perception stéréophonique est une image unique; je pensais que mes figures étaient explicites de ce point de vue ...

M. CONDAMINES - J'ai dans cette affaire, un pied dans chaque camp et il devrait être possible de jeter un pont entre les points de vue. Votre théorie qui esquisse le problème des différences oreille gauche-oreille droite et qui propose une méthode de traitement éventuellement exploitable à l'aide d'un ordinateur me séduit beaucoup. Vous avez montré que les différences de forme varient entre le casque, la salle, la fausse stéréophonie etc... Ne serait-il pas possible de reprendre cette méthode avec de la parole ? Les différences entre monophonie et stéréophonie semblent très marquées pour la parole !

M. LEIPP - J'ai fait quelques essais dans ce sens, mais je n'ai pu parler de tout... La question n'est qu'amorcée; l'important était d'apporter une méthode de recherche et des idées nouvelles de traitement de l'information binaurale. Les applications viendront par la suite !

M. J.S. LIENARD - Je comprends bien les divergences entre vous et les préneurs de son. Ceux-ci veulent reproduire la réalité pour l'auditeur moyen. Personnellement je suis très séduit par l'écoute au casque; mais je suis gêné par ce que je suis placé au milieu de l'orchestre ...

M. LEIPP - Reproduire la réalité stricte est une plaisanterie puisqu'on utilise des canaux technologiques dont on sait bien qu'ils ne peuvent de toute façon qu'amputer et déformer les signaux, même en monophonie, à fortiori en stéréophonie. Pour ce qui est d'être "au milieu de l'orchestre", c'est selon certain le summum de la "bonne musique", en particulier celle dite d'avant-garde.

M. LELOUX - En tout cas je pense que c'est une erreur de commencer par parler d'analogie entre la réalité et ce qu'il y a dans le casque.

M. LEIPP - J'espère n'avoir dit nulle part dans mon exposé que je soutenais qu'il y avait analogie entre audition au casque et audition normale... mais je crois avoir assez insisté sur le fait qu'il y avait perte d'information acoustique entre casque, salle, monophonie etc...

M. LEGUY - Le problème de la stéréophonie n'est pas lié au fait que le contenu des deux canaux n'est pas le même, mais aux conditions d'écoute.

M. LEIPP - Si ce n'est pas le fait que le contenu des deux canaux est différent au niveau de l'oreille, je ne vois pas très bien ce qui pourrait produire une sensation particulière en stéréophonie, et je crois avoir assez bien montré à quel point la salle modifiait précisément le contenu différentiel des deux voies ....

M. LEGUY - A-t-on fait des expériences de ce genre en chambre sourde ou réverbérante ?

M. LEIPP - Je n'ai pas connaissance que quelqu'un ait fait des expériences du genre de celles que je vous ai proposées ici; mais l'expérience est facile à faire, quoiqu'elle n'apporterait rien à mon propos de ce soir : on ne ferait que changer le taux de similitude et d'originalité des deux voies.

M. DUPREY - Je pense que la prise de son doit être faite pour moi, pour mon local d'écoute, pour ma chaîne.... Je n'aime pas votre installation que nous avons entendue.

M. LEIPP - Il faudrait faire de la prise de son sur mesure.... De toutes façons, il est évident que dans ce local il n'y a que 5 ou 6 places correctes pour l'audition stéréophonique.

M. LELOUX - Les haut-parleurs sont trop près du mur; il doit y avoir des inversions de phase....

M. LEIPP - Ce que vous dites n'est valable que pour vous et pour la place que vous occupez.... De toutes façons ce n'est absolument pas le problème qui m'intéresse ici; je l'ai suffisamment dit : je propose une méthode, le cas précis utilisé pour la démonstration n'a aucune espèce d'importance. Personne ne pourra de toutes façons jamais dire "cette audition stéréophonique est bonne, ou mauvaise", car ce qui est "bon" varie d'un individu à l'autre, à l'extrême... Mais je puis dire "ceci est différent de cela; et voici un moyen de chiffrer la différence".

X.... - A-t-on fait une étude systématique sur la répartition sonore en différents points d'une salle donnée, pour une localisation des sources donnée ?

M. LEIPP - La répartition des niveaux, en utilisant des artefacts sonores (bruit blanc etc...) : oui. Mais quant à la répartition spectrale avec sons réels, musique et parole, je crois que personne ne s'en soit soucié. C'est trop compliqué et les méthodes métrologiques acoustiques actuelles ne sont absolument inadéquates ici.

M. CEDEN - L'écoute mono, c'est le trou dans un mur. Les musiciens sont assis sur les genoux les uns des autres... et on ne fait pas l'écoute intelligente dans ce cas. Si l'écoute mono est un hublot, l'écoute stéréophonique n'est certes pas deux hublots... Nous cherchons non pas à suggérer deux sources punctiformes mais une base continue; et cela dépend de la prise de son! On essaye de créer une zone continue, de ne pas dissocier l'espace. On essaye, en quadraphonie en particulier, de créer une ambiance sonore, de mettre l'auditeur dans un bain d'ambiance !

M. LEIPP - Oui! Je sais. C'est la mode, actuellement.... On veut en musique dite d'avant-garde (ou en théâtre d'avant-garde) mettre l'auditeur dans le spectacle... J'ai plaisanté plus d'une fois déjà à ce sujet, en disant qu'on ne doit pas nécessairement être dans un pâté en croûte pour en apprécier la saveur.... Si vous voulez être dans l'orchestre, apprenez à jouer du violon comme moi et participez; vous en tirerez de l'information esthétique supplémentaire à celle du simple auditeur extérieur. Mais d'autres ressorts psychologiques sont en cause ici que l'audition stéréophonique : je parle d'expérience ! De toutes façons, quand un écrivain ou un compositeur n'a rien à dire, ce n'est pas la stéréophonie qui sauvera l'oeuvre de la médiocrité; pas plus que la tétraphonie ou l'utilisation de 650 haut-parleurs, avec des sons qui "tournent autour" de l'auditeur. Il s'agit là de quelques effets simplistes vite usés...

M. GEAY - Il faudrait écrire des oeuvres spécialement pour l'audition à voies multiples.

M. LEIPP - Bien sûr que le problème est là. Mais croyez-vous vraiment à une délectation esthétique supplémentaire importante pour des raffinés ? .....

M. GEAY - Ne croyez-vous pas qu'il serait nécessaire de fixer les limites en dessous desquelles on détruit la stéréophonie ?

M. LEIPP - Les limites varient tellement de l'un à l'autre auditeur que c'est bien utopique d'y penser !

M. POULTEAU - Ne devrait-on pas repenser la disposition de l'orchestre classique pour avoir plus de relief dans les enregistrements ?

M. LEIPP - La disposition des musiciens correspond à des impératifs très variés; de toutes façons je crois bien qu'en prise de son on a tout essayé depuis 25 ans.... Tout dépend aussi des oeuvres, des instruments en cause, de la salle etc... Tout dépend de ce que chacun attend de l'audition d'une oeuvre. Parmi les auditeurs de musique en conserve il en est qui écoutent la partition (les musiciens conventionnels en particulier), d'autres écoutent la chaîne (les maniaques de la HI FI); d'autres la méthode de prise de son; d'autres... la musique. Leurs points de vue ne peut être identique, ni leurs jugements par conséquent.

M. LELOUX - Une bonne prise de son vous transporte dans le lieu d'exécution; l'église est transportée chez vous .....

M. LEIPP - On cumule nécessairement l'église, le local d'écoute et le bruit de fond du local d'écoute... On me transporte dans l'église, mais je sens bien qu'on me trompe... et je l'accepte si j'écoute la musique ....

M. LELOUX - Vous traitez ce qui se passe dans le sillons : c'est cela qui me gêne. Ainsi que l'idée que vous avez lancée que le casque, c'est ce qui va le mieux.

M. LEIPP - Mais non. Je traite tout ce que vous voulez; le sillon, le casque, la salle, la fausse stéréo etc... Cela ne représente qu'un prétexte pour présenter la méthode que je préconise et penser à la simulation ultérieure par machine des mécanismes de perception à deux voies : stéréoscopie ou stéréophonie... De toutes façons la question n'est pas vidée : nous sommes ici pour poser des problèmes et amorcer des réponses. Je n'ai d'ailleurs aucune intention d'imposer mes vues à quiconque. J'ai bien insisté au départ : mon hypothèse est un outil à réfléchir; si cet outil vous séduit, rien ne vous empêche de l'essayer ou de vous en servir; s'il ne vaut rien, l'avenir se chargera rapidement de le faire oublier. En tout cas, il a servi à nous réunir ce soir, et si j'en crois la longue discussion - que le temps nous obligé à présent d'arrêter, je pense qu'il vous a intéressé. Alors le but de notre dernière réunion du GAM, cette année, est atteint !

Voici une lettre de M. LARACINE, du laboratoire d'acoustique de l'O.R.T.F. à MEUDON, qui complète la discussion où tout n'a pu être dit sur le sujet de la stéréophonie....

E. LEIPP

Meudon, le 30 Juin 1972

Puisque vous nous l'avez si aimablement proposé voici quelques réflexions que m'a inspirée votre dernière conférence sur l'écoute stéréophonique.

- 1°) Vous nous avez présenté des courbes de perception des sons des deux oreilles d'un auditeur. Ces courbes montrent que la différence des niveaux perçus par les deux oreilles était presque toujours supérieure à 2 dB. Or 2 dB sont amplement suffisants pour déterminer une différence de position dans l'espace (en écoute sur haut-parleur). La stéréo est donc utile même dans les basses fréquences.
- 2°) L'effet d'antériorité dont vous tenez compte dans vos différences de sonagrammes de la voie gauche et de la voie droite a un effet très important sur la qualité d'une écoute stéréophonique, c'est en grande partie la raison pour laquelle la prise de son style O.R.T.F. permet une restitution d'une clarté bien supérieure aux prises de son dites en coïncidence.
- 3°) Il ressort des nombreuses expériences d'écoute que nous avons effectuées que ce n'est pas la quantité des différences d'information perçues par les oreilles qui déterminent une bonne ou mauvaise écoute stéréophonique mais c'est leur qualité et surtout l'appréciation de cette qualité perçue par les auditeurs et très différemment pour chacun d'eux.

C'est d'ailleurs le plus important apport de la stéréophonie que la possibilité du choix à l'intérieur du message sonore retransmis. En effet la monophonie imposait à l'auditeur et de la même façon à tous les équilibres de sources sonores décidées par le preneur de son, la profondeur étant donnée par un mélange de différences de niveau et de différences de réverbération alors qu'une bonne prise de son stéréophonique permet à chacun d'entendre ce qu'il désire grâce à l'écoute intelligente et à sa propre subjectivité.

En espérant que ces quelques considérations apporteront une petite information au très important travail d'approche des phénomènes que vous avez effectué, je vous prie d'agréer .....

...../

NOTE : Le soir même de notre réunion, nous avons eu le plaisir de parler longuement des problèmes soulevés par l'audition binaurale et M. CONDAMINES, qui dirige le Laboratoire d'Acoustique de l'O.R.T.F., a bien voulu nous envoyer les compléments d'information ci-dessous qu'on lira avec intérêt.

E. LEIPP

- Cette méthode d'interprétation présente le gros intérêt de permettre une mesure quantitative de l'effet stéréophonique; c'est une approche du problème qui me paraît extrêmement intéressante. Par un jeu de comparaisons et d'études rationnelles, on devrait sans doute arriver à des résultats très positifs concernant les relations entre l'intérêt esthétique et le "taux d'originalité".
- Je ne crois pas que les "petits mouvements de la tête", souvent invoqués par les auteurs, interviennent dans le repérage directionnel. En fixant rigidement la tête, on ne perd rien de l'audition spatiale en général, ni de la perception des directions en particulier. Si le fait d'observer une position rigoureusement fixe devient gênant à la longue, c'est par le biais d'une entorse aux lois physiologique bien connues du frémissement spatial de nos organes, trémulation constante de faible amplitude tout à fait normale.

Dans l'écoute avec HP, il existe donc cette liberté, source de bien être dans l'écoute. Mais cette liberté est définie sur le domaine kinesthésique et non sur celui de l'audition pure; elle existe également dans l'écoute au casque. Et, bien qu'une légère contrainte auditive subsiste en ce sens, elle ne paraît pas suffisante pour contrebalancer les avantages bien connus de l'écoute au casque, que vient de rappeler M. Leipp.

- Il n'est pas du tout nécessaire que le preneur de son ait travaillé "pour" le casque; on écoute bien le chant des oiseaux, de telle manière que l'on veut, et ceux-ci n'ont rien fait "pour". Il s'agit alors d'une interprétation par l'auditeur qui, jouant un rôle actif, choisit le système d'écoute d'un matériau sonore donné.
- L'intérêt de la stéréophonie est non seulement un élargissement de l'espace sonore, mais un accroissement de la qualité intrinsèque de tout point de cet espace; il existe donc pour toutes sortes de sources sonores, d'aspect "large" ou "étroit", de l'orgue au violoniste. Si, à certains moments, la différence mono-stéréo paraît peu sensible au musicien, c'est qu'il s'attache au sens intime de l'oeuvre et que pour lui, l'espace sonore devient alors "extérieur" (de même d'ailleurs que la qualité technique proprement dite). Mais la bonne stéréophonie ne nuit pas, au contraire, à une telle écoute que j'estime, pour ma part, beaucoup plus qualifiée que celle d'un technicien pur, écoutant superficiellement, extérieur à la vie même de l'oeuvre.

Malheureusement la réalisation d'une bonne stéréophonie, telle que l'"extérieur" soit vraiment le mode d'expression du sens profond des oeuvres, est quelque chose de rare, trop rare pour que je puisse m'étonner de la réaction des musiciens dont vous venez de nous parler.

Pour résumer, on peut fort bien admettre que dans certaines conditions la stéréophonie ne soit pas "supérieure" à la monophonie.

Paris, 27 Juin 1972  
R. CONDAMINES.