

n°85

Mai 1976

E. LEIPP

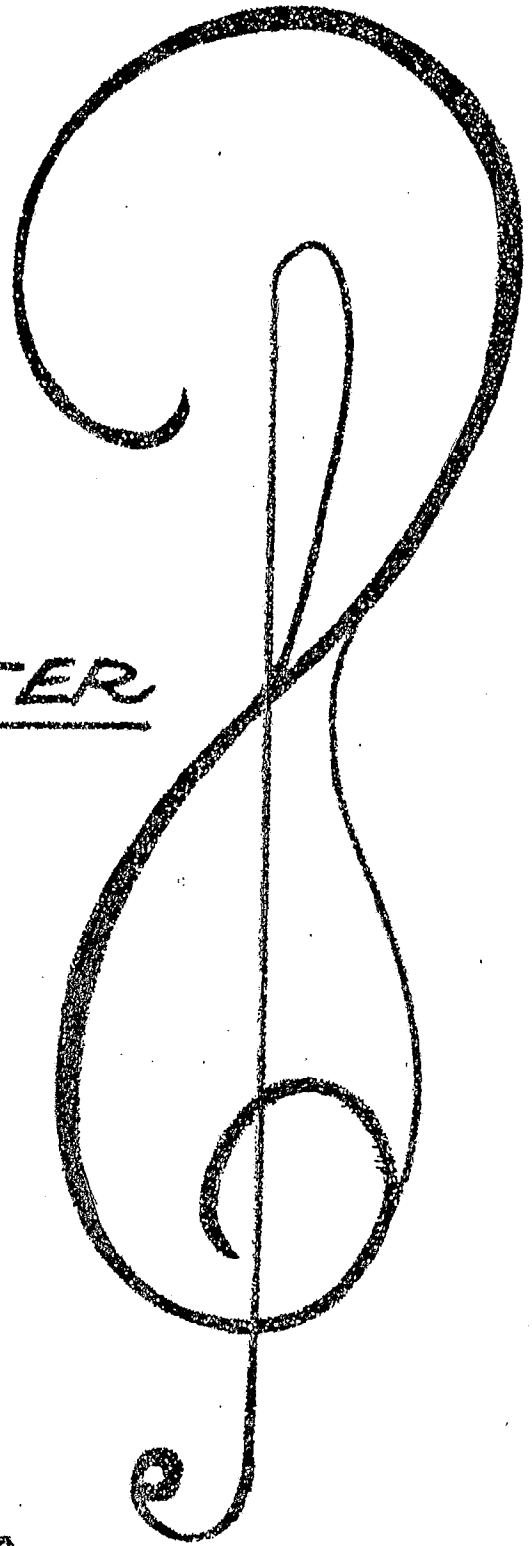
PEUT-ON TESTER

L'OREILLE

MUSICIENNE



G. A. M.



Bulletin du Groupe d'Acoustique Musicale
Université de Paris VI. — Tour 66.
4 Place Jussieu 75230 PARIS CEDEX 05

PEUT-ON TESTER L'OREILLE MUSICIENNE ?I. GENERALITES

Depuis la plus haute antiquité on observe qu'une fraction notable des hommes est attirée par les musiques les plus variées, fonctionnelles ou autres. L'invention des instruments et des styles de musiques est cependant visiblement le fait de " surdoués ", ayant une " oreille musicienne " évoluée. Mais que veut donc dire exactement ce terme ? Les explications que nous propose l'anatomo-physiologie sont assez décevantes... Le Dr. DORGEUILLE (bib.1) est formel :

" Ainsi nous voyons que l'analyse physiologique des fonctions auditives ne fournit aucun élément qui pourrait être considéré comme spécifique de l'audition musicale et dont les variations qualitatives ou quantitatives pourraient rendre compte des différences considérables qu'offre la réalité. Les faits qu'apporte la pathologie, d'autre part, ne témoignent de rien d'autre que de la nécessité de ce support anatomo-fonctionnel et de son intégrité ".

DORGEUILLE en conclut que l'oreille musicienne ne peut donc résulter que du " mode d'acquisition du langage musical ", c'est à dire de l'apprentissage dans un milieu socio-culturel donné, du conditionnement.

Mais on peut aussi penser que, du point de vue musical (et d'ailleurs en général) les méthodes utilisées par les spécialistes de la physiologie auditive sont insuffisantes, lacunaires, sinon inadéquates. C'est en tout cas le point de vue que, preuves à l'appui, je soutiens depuis longtemps (bib.2, 3). Il y aurait beaucoup à dire sur les tests utilisés, ainsi que sur les méthodes conventionnelles, métrologiques, encéphalographiques etc...

Mais là n'est pas mon propos : ceux que la question intéresse trouveront tous les détails utiles dans mon prochain ouvrage (La machine à écouter; essai de psycho-acoustique, en cours d'impression chez MASSON (bib.4).

Ce que je vous propose ici, c'est une série de vues, d'expériences et de réflexions sur la question de " l'oreille musicienne ", résultant d'observations et de recherches personnelles plutôt que livresques... Personnelles ne veut pas dire " arbitraires ". J'ai fabriqué et joué pendant de longues années des violons; j'ai été longuement en contact avec des musiciens, amateurs et professionnels; je tentais alors de percer la signification précise, objective, acoustique, des termes qu'ils utilisaient pour me décrire les qualités des instruments que je fabriquais. Devant l'impossibilité de comprendre et d'accorder leurs jugements, nous avons, avec MOLES (bib.5), tenté d'établir une fiche caractéristique physique, acoustique, des instruments, où nous éliminions " l'oreille musicienne ", essais qui se soldèrent par un échec; nous avons compris pourquoi entre temps : on ne peut éluder le problème du récepteur dans un problème informationnel...

Par la suite j'ai buté aux mêmes difficultés pendant les longues années où, en tant que conseiller acoustique, j'ai fait des recherches avec des facteurs de clarinettes, de saxophones, de haut-bois, d'accordéons, de cordes harmoniques etc... Il devint de plus en plus évident que, l'oreille humaine n'étant pas normalisée, on ne pouvait satisfaire tel ou tel musicien sans connaître les performances et les particularités de son système auditif personnel. Il est par conséquent illusoire de

vouloir résoudre les problèmes de la musique par les voies de l'acoustique ou la physiquement uniquement : il faut absolument trouver des méthodes efficaces pour tester l'oreille musicienne. Ce n'est qu'à ce prix qu'on peut espérer comprendre ce que disent les musiciens et éventuellement leur fabriquer des instruments " sur mesure " susceptibles de satisfaire leur oreille personnelle.

Les vues qui seront développées ici ne sont pas très conformes aux théories et doctrines en cours parce qu'elles sont le fait d'un chercheur. Un chercheur dont les vues sont conformes, n'est pas digne de ce nom... Mais le non-conformisme appelle obligatoirement quelques arguments démonstratifs, sinon il est stérile : ceux-ci devraient permettre d'avancer la question de la perception musicale, dont l'intérêt dépasse d'ailleurs de loins la musique. En effet, ce qui est en cause, en dernière analyse, ce sont les propriétés du système auditif humain et les moyens de les tester. Mais venons-en donc au thème limité de cette réunion : " Peut-on tester l'oreille musicienne ? " En fait, malgré son air anodin, cette question en soulève d'autres, connexes, nombreuses et redoutables, auxquelles il est indispensable de répondre au préalable; en particulier celles-ci : " qu'est-ce que la musique " et " quels sont les mécanismes d'écoute de la musique " ?

II. QU'EST-CE QUE LA MUSIQUE ?

A l'occasion d'un colloque organisé récemment par des spécialistes de la rééducation de la parole (bib.6) j'ai soutenu la thèse que la musique n'était pas un langage, mais un jeu. La preuve en est évidente. Un discours de parole peut toujours se traduire en une autre langue : il signifie quelque chose de précis, se rapportant à des objets, des idées ou des faits bien définis faisant l'objet d'un large consensus dans un milieu socio-culturel donné. Un " discours musical, par contre, ne signifie rien; on ne peut le traduire en un autre " langage " musical. C'est évident si on admet que la musique est un jeu. En effet, un jeu ne signifie rien, et on ne peut, pour cette raison, le traduire en un autre jeu ! Le jeu de billard, de cartes, d'échecs, n'a aucune signification; c'est, en fait, un exercice pour celui qui joue : on exerce son habileté manuelle ou son habileté intellectuelle (jeu de prédiction, de stratégie etc..). Dans tous les cas, cependant, un jeu suppose l'existence d'un ensemble de règles, arbitraires, mais bien définies, et que l'on peut " tourner " de diverses façons. Un jeu implique donc un apprentissage préalable de règles bien définies.

Ce qui différencie les jeux, c'est le degré de complexité des règles en présence. Un jeu n'est pas meilleur ou moins bon qu'un autre : il présente simplement un degré de complexité plus ou moins grand, qui implique, de la part du cerveau du joueur (comme de l'observateur extérieur) des capacités et des efforts plus ou moins grands pour le traitement de l'information nécessaire pour " suivre " le jeu et apprécier ses péripéties.

La musique, c'est bien tout cela! Mais être musicien recouvre dès lors une notion difficile à préciser... En effet, on peut être doué pour la combinatoire et inventer des jeux (compositeur); on peut être doué pour " mener " des jeux (chef d'orchestre), ou pour les jouer, ^(exécutant) ou même pour en observer simplement les péripéties (auditeur). Chaque " spécialité " demande bien entendu tout à fait d'autres aptitudes. L'exécutant peut d'ailleurs être lui-même " auditeur ", jouer pour son propre plaisir. Mais il peut aussi envisager de jouer pour les autres : les qualités auditives requises sont très différentes dans les deux cas; ce n'est pas du tout le même problème; nous y reviendrons. Le mot " musicien " recouvre donc bien des significations, et il est clair que " l'oreille musicienne ", selon les cas, ne fait pas du tout les mêmes opérations.

En ne considérant que le cas de l'auditeur, la question est complexe, déjà, et il faut distinguer au moins deux types d'écoutes. En effet, une longue expérience nous a montré que tous les " musiciens " ci-dessus sont susceptibles de pratiquer, volontairement ou non, deux écoutes absolument différentes, relevant chaque fois de mécanismes auditifs tout à fait particuliers, que nous avons déjà eu l'occasion d'analyser récemment (bib.7). Il est utile de rappeler brièvement ce qu'il en est.

Un évènement sonore comporte normalement de nombreuses composantes acoustiques (harmoniques, partiels, bruits) qui, en musique, évoluent très rapidement dans le temps. On peut alors se proposer d'observer l'évènement au fur et à mesure, en tentant d'en faire une sorte d'analyse spectrographique instantanée (sonagrammes mentaux...) de courte durée (quelques secondes). C'est l'écoute d'ordre proche, qui s'intéresse à la structure interne évolutive, à la " vie " des sons à l'instant présent. Pourquoi pas... C'est le jeu que pratique un enfant lorsqu'il s'amuse (beaucoup) à donner des coups de pied dans une boîte pendant des centaines de mètres, et qu'il observe les mouvements et les bruits sans se soucier de ce qui s'est passé longtemps avant et de ce qui se passera plus loin. Il s'agit évidemment d'un jeu " sensuel ", très limité, qui n'a ni début ni fin, ni organisation temporelle globale, macroscopique, ni règles d'ensemble; ce jeu est " naturel " et ne nécessite aucun apprentissage.

Tout autre est le jeu d'échec par exemple, où le joueur connaît un corps de règles extrêmement élaboré, qu'il respecte, jouant simplement à l'intérieur du champ de liberté que lui laissent les règles; ici on est en présence d'une structure ^{temporelle} globale, ayant un commencement et une fin! En musique, c'est le ^{cas du} jeu d'une fugue, d'une sonate, d'une symphonie: ici le jeu de l'écoute met à contribution d'autres mécanismes. C'est l'écoute d'ordre lointain, qui implique nécessairement la connaissance préalable des règles et représenté un " jeu intellectuel ", mettant en cause des opérations et des fonctions mentales très différentes de l'écoute d'ordre proche. Pour pratiquer ce jeu d'écoute, il faut évidemment avoir appris des règles - intuitivement, par écoute répétée, ou systématiquement avec un maître.

Les musiques classiques relèvent de l'écoute d'ordre lointain; la plupart des oeuvres contemporaines relèvent de l'écoute d'ordre proche. Si on veut tester " l'oreille musicienne ", il est indispensable de préciser au préalable de quel type d'écoute - donc de quel type de musique - il s'agit....

Voici un autre point : le rayonnement acoustique est extrêmement variable d'un instrument à l'autre. Celui-ci concentre toute l'énergie dans le suraigu, celui-là dans le médium, cet autre dans le grave. Il est donc clair que les qualités d'oreille, requises pour le jeu et l'audition de tel ou tel instrument, seront chaque fois différentes, indépendamment du type de musique considéré.

De même, les sons de certains instruments présentent des fluctuations très rapides (transitoires en particulier), et d'autres n'évoluent que très lentement. Pour apprécier les premiers, il faut une oreille très fine en perception temporelle; ce qui est bien inutile dans le deuxième cas !

Les mots " musiques ", " écoute musicale " et " oreille musicienne " recouvrent donc des concepts beaucoup plus compliqués qu'on ne le pense habituellement : pour faire et goûter des musiques différentes, il faut donc des " oreilles musicales " différentes ! Mais comme l'oreille de tous les individus se ressemble structurellement, il est indispensable de comprendre alors comment, d'un sujet à l'autre, elle peut différer fonctionnellement. Mon " modèle fonctionnel " va nous être utile à ce propos.

III. LE MODELE FONCTIONNEL PROPOSE

Je m'excuse ici de quelques redites : elles sont indispensables. Je propose depuis longtemps dans mes publications un " modèle fonctionnel " du système auditif, qui s'est lentement élaboré et perfectionné pendant des années (bib.8). Ce modèle ne prétend que de simuler le système auditif dans ses fonctions : son mérite est d'être désormais réalisable en pratique grâce à l'électronique et à l'informatique. Voici ce modèle, fortement schématisé (fig. 1).

Il s'agit d'un système informationnel, d'un système à capter et traiter des messages acoustiques.

Le capteur (tympa) vibre et transmet les oscillations mécaniques aux osselets. Ceux-ci représentent un système d'asservissement s'adaptant automatiquement de façon optimale aux variations de niveau ^{des signaux} afférents, tout comme les systèmes ALC (automatic level control) de certains magnétophones évolués actuels. Ceci évite la saturation du maillon suivant; la cochlée, qui est en fait un convertisseur analogique-digital, transformant les vibrations mécaniques en configurations (volées) d'impulsions électriques. Celles-ci représentent l'image codée de l'image acoustique afférente.

Les configurations d'impulsions s'inscrivent sur une mémoire tournante, où est ainsi " photographiée " l'actualité acoustique (empan de quelques secondes, largement variable d'un individu à l'autre). Si c'est utile, on peut conserver cette image (préalablement simplifiée par autocorrélation) dans une mémoire transitoire (effaçable) ou dans une mémoire mémorisante (définitive, " morte ").

Un ordinateur central permet de faire, sur les images stockées (images mentales) toutes les opérations désormais classiques en informatique : corrélation d'images (pour reconnaissance des formes et jugements comparatifs), combinatoire (composition à l'aide d'éléments en mémoire, selon programme appris, etc...). Lorsque l'opération en cause est terminée, l'ordinateur central prend une décision qui se traduit par une réaction du sujet propriétaire de l'oreille considérée.

L'intérêt de ce modèle est de mettre en évidence les divers maillons mécaniques, électroniques et informatiques en présence, qui déterminent les réactions finales d'un sujet à un événement acoustique. On se rappellera que chacun de ces maillons est un " filtre ", qui coupe une partie de l'information afférente et rajoute son propre bruit de fond. Si, chez les sujets normaux les maillons ci-dessus sont toujours tous présents, leurs performances individuelles peuvent différer à l'extrême. Tel maillon mécanique (tympa, osselets) peut être amorti ou non; le temps de réponse du système global en dépendra largement (constante de temps), ainsi que la finesse de perception fréquentielle. Ce sont des lois bien connues en mécanique et en électronique. Toutes autres choses égales, le système tympa-osselets, selon ses caractéristiques, peut donc à lui seul conditionner toute l'oreille musicienne de tel sujet (pouvoir séparateur temporel et fréquentiel).

Mais ce pouvoir séparateur, pour deux systèmes tympa-osselets identiques, peut encore être totalement modifié par le " pouvoir séparateur " des mémoires, tout comme la netteté d'une image sur un écran de télévision dépend du nombre de lignes. Une image, parfaitement nette au niveau du convertisseur analogique-digital, peut ainsi devenir tout à fait floue sur la mémoire instantanée. De leur côté, les mémoires transitoires ou mémorisantes ont, de même, d'un sujet à l'autre, des " profondeurs " extrêmement variables. Tel sujet surdoué, disposant de nombreuses " cartes ", peut retenir beaucoup plus d'images que tel autre, donc disposer de plus de références pour porter des jugements lors de l'écoute musicale.

Enfin, selon les dimensions de " l'ordinateur biologique " de chacun, le traitement de l'information (reconnaissance des sons, jugements comparatifs, combinatoire etc..) sera plus ou moins long. On aura beau disposer d'un capteur " rapide " et de mémoires " fines " et bien pleines... on ne pourra suivre tel évènement en temps réel, à l'écoute, que si l'ordinateur est assez " gros " et performant.

Ce modèle montre avec évidence les nombreuses variables dont dépendent les performances globales du système. On comprend que la réaction d'un sujet à une musique donnée, et ses capacités à pouvoir suivre et apprécier telle ou telle musique puissent différer de façon extraordinaire d'un individu à l'autre. On comprend du même coup les divergences de jugement sur un même évènement acoustique que nous constatons journalièrement.

Mais ces différences ne viennent pas seulement des performances " technologiques " des divers maillons; elles dépendent encore largement du contenu des mémoires du sujet. En effet, les phénomènes musicaux sont d'une complexité telle qu'il est exclu de pouvoir traiter en temps réel, à l'écoute, toute l'information qu'ils contiennent. L'auditeur ne peut alors que projeter sur l'actualité (sur les images afférentes, situées en mémoire instantanée) les images qu'il a préalablement stockées en mémoire transitoire ou mémorisante : il ne percevra, ne reconnaîtra au passage, que ce qu'il a appris. Son écoute dépend donc de son conditionnement préalable. Si on se propose de tester le système auditif global il ne faudra pas l'oublier....

Finalement, la durée de traitement de l'information à l'écoute dépend encore de la rapidité d'accès aux données mémorisées, et cette rapidité est fonction de l'ordre dans lequel on a disposé les données. Dans une mémoire ou tout est en désordre, il faudra beaucoup de temps pour retrouver les " cartes ". Et pendant ce temps la musique s'écoule, des éléments échappent à l'écoute....

Après ce rapide tour d'horizon sur le système auditif, montrant toute la complexité du problème de l'écoute, la question se pose évidemment de savoir comment on va s'y prendre pour tester les performances du système auditif, et pour décider, en fonction du contenu mémoriel de chaque sujet, à quel degré son oreille est musicienne ou non.

L'accès direct aux mécanismes anatomo-physiologique est, pour l'heure, totalement impossible. On ne sait pas, actuellement, tester de façon réaliste et efficace les organes matériels macroscopiques de l'oreille moyenne ou interne; a fortiori tout ce qui est électronique (fonctionnement des cellules etc...), et encore bien moins ce qui se passe ensuite dans le cerveau. De toutes façons, des tests sur maillons isolés sont inintéressants; car les propriétés et performances d'un maillon donné dépendent largement de celles des maillons voisins. Le système auditif est un tout, et si on veut réaliser des tests réalistes sur " l'oreille musicienne ", il faut se résigner à ne tester que les réactions globales, à la sortie du système. Il convient cependant d'avoir toujours présent à l'esprit le modèle fonctionnel de ce système; cela nous permettra de comprendre de nombreuses observations d'aspect paradoxal ou de répondre à diverses questions de façon raisonnable, par exemple à celle de l'hérédité musicienne.

Tout le monde admet qu'un individu puisse, pour des raisons d'hérédité, être grand ou petit, avoir des cheveux rouges ou noirs, des muscles prédisposés à faire de la course à pied, etc... Il n'est pas plus difficile d'accepter l'idée que tel individu dispose héréditairement d'une "mécanique" d'oreille moyenne plus élaborée que tel autre, d'un convertisseur analogique-digital plus riche en possibilités, d'une mémoire instantanée plus " longue " et plus " fine ", de " tiroirs mémoriels " plus grands, d'un ordinateur plus " gros " et plus performant. Il existe donc des prédispositions à la musique... et tout le monde n'a pas une oreille musicienne....

Le contenu des mémoires dépend bien entendu du contexte socio-culturel; mais

...../

il ne faudrait se faire aucune illusion : celui qui possède une mécanique, une électronique ou une informatique auditive déficientes ne sera jamais un musicien ou un auditeur évolué ! Ce n'est pas un problème de " classe ", comme certains le proclament. S'il existe une " musique de classe ", c'est d'abord d'une " classe de systèmes auditifs " qu'il s'agit ! Bref, on peut ou non avoir une " machine à écoute élaborée dans toutes les classes socio-culturelles (restriction faite sans doute du type d'alimentation, de la sous-alimentation éventuelle etc...); mais aucune " société " ne compensera les inégalités héréditaires du point de vue de l'oreille musicienne. Mais venons-en à notre sujet.

Les maillons de la chaîne auditive diffèrent, avons-nous dit, d'un sujet à l'autre, d'où des performances du système global différentes d'un individu à l'autre. Le problème est alors le suivant : la chaîne auditive d'un musicien, son oreille musicienne, a-t-elle quelque chose de particulier, et peut-on le tester le cas échéant ? C'est ce que je me propose à présent d'examiner, en vous donnant le résultat de nombreuses recherches que je fais depuis des années sur cette question.

IV. TESTS AUDITIFS MUSICAUX

Beaucoup de psycho-physiologistes se sont penchés sur le problème de la perception de la musique, entre SEASHORE et FRANCES (bib.9). Le fait de considérer le système auditif comme un système informationnel à partir d'un modèle fonctionnel (sans souci des fonctions anatomo-physiologiques réelles) m'a conduit d'une façon générale, à ne partager ni les points de vue, ni les façons de faire, ni les conclusions classiques.

Voici les tests que j'ai conçus et réalisés depuis une dizaine d'années pour apprécier les performances de l'oreille musicale. Ils ont tous été utilisés et éprouvés avec les étudiants de mon cours d'acoustique, ainsi qu'avec de nombreux musiciens, preneurs de son, simples auditeurs, etc..., à l'occasion de leur passage au laboratoire.

La musique est un art du temps : C'est l'art de structurer le temps de façon perceptible, qu'il s'agisse d'écoute d'ordre proche ou d'ordre lointain. Le premier test, le plus important pour l'oreille musicienne, est donc le test de la perception temporelle.

A - TEST DE PERCEPTION TEMPORELLE.

Le temps possède auditivement trois aspects :

- l'aspect microscopique : on y parlera de millisecondes ! Il est intéressant de tester le pouvoir séparateur micro-temporel de l'oreille car il conditionne la perception des phénomènes rapides (transitoires en particulier).

- l'aspect macroscopique, concernant de longues durées, dépassant plusieurs secondes.

- l'aspect de la régularité de l'écoulement temporel (dérive).

1°) Pouvoir séparateur micro-temporel :

La méthode que j'ai imaginée est simple. On présente au sujet une série de séquences de clics (impulsions de Dirac), c'est-à-dire de signaux correspondant

...../

à un bruit d'impact contenant instantanément toutes les fréquences. Ces clics, irrégulièrement répartis, sont réalisables par diverses voies technologiques. Nous avons par exemple utilisé des séquences de clics réalisés avec notre lecteur de parole synthétique (ICOPHONE), puis à l'ordinateur, où moyennant une sortie " son ", les choses sont aisées. Signalons que nous avons en construction un appareillage électronique simple qui permettra de réaliser plus facilement ces séquences; les prototypes ont été essayés, le modèle définitif sera terminé au moment de cette réunion du GAM : nous en parlons plus loin.

Les clics sont enregistrés sur bande magnétique et diffusés avec un petit haut-parleur, vérification étant préalablement faite qu'ils " passent " bien.

J'ai choisi des séquences de clics disposées de façon à pouvoir opérer rapidement, sans trop rechercher une précision bien inutile. En effet, le séparateur temporel de chaque oreille varie notablement pour chaque individu, selon son état physique et psychologique du moment; et, de plus, les différences entre individus sont tellement fortes qu'il est bien inutile de " raffiner " ici.

La méthode de test est simple : voici comment, je procède. Prenons par exemple une des séries que j'ai réalisées parmi d'autres (fig.2) et considérons l'échantillon (a). Une seule question est posée au sujet : " combien de coups avez-vous nettement perçus ? ". Si le sujet répond " 6 " pour l'exemple considéré on peut affirmer qu'il sépare nettement des clics distants de 5 millisecondes. S'il répond " 3 coups ", c'est qu'il ne sépare pas des phénomènes distants de 5 millisecondes. On contrôle le résultat avec quelques autres échantillons comportant une autre répartition des intervalles de 5 ms. Trois essais suffisent; si le sujet a compté chaque fois le nombre exact de clics, inutile d'aller plus loin : son oreille musicale percevra parfaitement les sons musicaux évolutifs et en particulier l'évolution, donc la structure des transitoires - point important en ce qui concerne la perception des timbres.

Si le sujet n'arrive pas à séparer 5 ms, on lui propose d'autres échantillons, comportant des intervalles de 10 ms (fig. 2b) et on repose la même question (combien de coups perçus ?). Le test est fait collectivement : on est rapidement fixé sur l'ordre de grandeur du pouvoir séparateur temporel des sujets. Voici les résultats pour les 30 sujets du cours de cette année (sujets normaux, tous musiciens; âge moyen 23 ans).

30 %	discriminent mieux que	10 ms
20 %	"	" " 25 ms
45 %	"	" " 50 ms
5 %	"	" " 100 ms

Les différences sont considérables; comme on a vu plus haut, elles peuvent venir de causes variées : mécaniques, électroniques ou informatiques. Qu'importe les causes : le résultat est là : les " surdoués " entendent toute une " musique " à l'intérieur des transitoires; pour ceux qui ont un pouvoir séparateur plus long que les transitoires eux-mêmes, ils " intégreront " tout à l'intérieur de cette durée, et tous les transitoires " sonneront " de façon identique ! Il est alors exclu que les uns et les autres soient d'accord sur les timbres, dont les transitoires sont partie constituante. Il est certain, par contre, que les plus " rapides " seront gênés par des petits bruits très brefs (poussières d'un disque, etc...) et les autres non... Bref, le jugement musical des divers sujets sur la sonorité de tel instrument, de telle chaîne HI-FI, sur telle musique de percussions rapides etc... ne peut être unanime, et l'expérience a montré que ce test est sans doute le plus important pour définir l'oreille musicienne.

...../

2°) Test macro-temporel

Celui-ci est lié à l'empan de la mémoire instantanée, peut-être aussi aux particularités de la mémoire transitoire. Nous avons été frappés, au laboratoire par le fait que certains musiciens ethniques utilisaient des formules rythmiques de très longue durée (40 secondes et plus), qu'ils reproduisent systématiquement tout au long d'une pièce. C'était le cas, en particulier, pour beaucoup de musiciens orientaux, et ceci m'a donné l'idée de faire un test macro-temporel en utilisant simplement des formules rythmiques de percussion, de longueur croissante. Le procédé est simple. On commence par frapper une formule simple comportant par exemple 5 ou 6 chocs étalés irrégulièrement sur 2 secondes; on reproduit deux fois la même formule et on vérifie si le sujet testé est capable de la reproduire immédiatement, ou de la transcrire sur papier de façon simplifiée (fig. 1). Les échantillons peuvent être faits directement ou enregistrés sur magnétophone au préalable, ce qui permet un contrôle et garantit la reproductibilité pour les autres sujets. En utilisant des "formules rythmiques" de plus en plus longues et compliquées, on vérifie rapidement que la "mémoire rythmique" des sujets varie dans des proportions extraordinaires. On peut soutenir qu'il s'agit d'un problème d'entraînement; mais aucun de nos sujets n'était spécialement entraîné sur ce point... Une chose est sûre : une mémoire temporelle trop courte exclut la perception de formules rythmiques de longue durée, donc l'écoute d'ordre lointain de beaucoup de musiques ethniques...

Nous voici donc fixés à la fois sur le pouvoir séparateur temporel et la "mémoire" rythmique du sujet. Passons aux tests de perception de la fréquence et de la hauteur.

3°) Le test de dérive temporelle

La sensation de durée des sons soulève des problèmes très particuliers, sur lesquels je me suis penché naguère, à propos du problème de la dérive du diapason lors de l'exécution de la musique, d'œuvres lyriques par exemple. En effet les relevés faits pendant l'œuvre complète montrent une accélération nette du tempo dans les passages de tension psychologique, accompagnée d'une montée notable du diapason. Il semble que le système nerveux fonctionne mieux et plus vite dans certaines circonstances, et la sensation intuitive de l'écoulement du temps en est influencée : la seconde psychologique est plus courte aux moments d'excitation. Dans quelle mesure est-on capable de discerner une dérive temporelle ? Pour en avoir le cœur net, le laboratoire d'électronique (M. SAPALY, COTIN) nous a construit un "métronome à dérive". (fig. 4).

Le principe est simple. On affiche un certain tempo sur un cadran (par exemple 60 coups-seconde); sur un deuxième cadran, on affiche un deuxième tempo (par exemple 120). L'appareil permet de passer graduellement et régulièrement de 60 à 120 (ou toutes autres valeurs, bien entendu) en un temps que l'on peut également régler, et que l'on affiche sur un troisième cadran. Soit par exemple 20 secondes : cela signifie que l'on passera de 60 à 120 coups en 20 secondes.

On demande au sujet si oui ou non, il existe une dérive temporelle. Si tout le monde percevait cette dérive, on peut soit allonger le temps (1 minute par exemple) - ce qui diminue la sensation de dérive... - ou aussi, pour la même durée de 20 secondes, on peut régler l'appareil entre 60 et 80 coups seulement. Après quelques essais de ce genre, on vérifie que la sensation de dérive est appréciée très différemment selon les sujets. De temps à autre, on trompe aussi les sujets en leur annonçant une dérive et en n'en produisant effectivement aucune.... On vérifie que la tension psychologique joue pour les sujets émotifs : ils entendent effectivement une dérive là où il n'en existe pas. D'autres sujets sont insensibles à la suggestion...

...../

Ce type de test est intéressant; mais il est difficile d'obtenir des résultats précis, reproductibles; on vérifie simplement une forte dispersion avec les sujets, et, pour chaque sujet, avec son état psychologique du moment. Il faudrait sans doute refaire ce test sur d'autres bases; je l'ai abandonné comme beaucoup moins significatif en ce qui concerne l'oreille musicienne.

B - TEST DE PERCEPTION DE LA FREQUENCE ET DE LA HAUTEUR

La sensibilité du système auditif à la fréquence, implique aussi la perception de la hauteur (sons successifs et simultanés). Il faut donc prévoir plusieurs tests. Commençons par le test classique d'audiométrie tonale.

1°) Audiométrie tonale

Appareillages et méthodes sont bien connus de tous. Depuis de nombreuses années j'accumule les audiogrammes de tous les étudiants de mon cours et de nombreux autres sujets, tous musiciens, qui fréquentent le laboratoire. J'ai déjà donné des précisions sur ce point en diverses circonstances (bib.10).

L'audiomètre utilisé est un modèle classique, montant jusqu'à 10 000 Hz. Il permet de relever, pour chaque oreille du sujet, le seuil de perception relatif à une série de " bornes " fréquentielles données (125, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 et 10 000 Hz dans le cas considéré). Bref, on mesure le niveau où l'oreille commence à percevoir ces fréquences. Voici les résultats de la superposition des oreilles des 26 étudiants ayant suivi mon cours cette année (fig.5).

A première vue, la dispersion est étonnante, car il s'agit de sujets jeunes, musiciens, supposés disposer d'une oreille musicienne " normale ". Les écarts extrêmes sont de l'ordre de 40 dB, et on peut bien se demander dans ces conditions comment ces sujets réussissent à s'entendre sur les musiques qu'ils écoutent ensemble... Mais d'abord, il faut préciser que personne ne possède deux oreilles semblables, et que l'une est toujours meilleure que l'autre... En cas de besoin l'auditeur écoute avec sa " meilleure oreille " ! Il ne faut donc pas trop s'inquiéter de la dispersion constatée ici.

Il faut encore rajouter que l'audiogramme représente un artefact, réalisé en chambre sourde, sans contexte musical. En fait, toutes les " anomalies " au-dessus de 4 000 Hz n'ont de signification (chez les musiciens " normaux ") qu'en ce qui concerne l'appréciation du timbre, dans la mesure où l'oreille ne joue que le rôle d'un filtre " passe-bas ". Mais, connaissant l'audiogramme tonal d'un sujet, on peut comprendre pourquoi il aime ou n'aime pas le clavecin, ou tel autre instrument à timbre suraigu, pourquoi il règle de telle ou telle façon l'aigu de sa chaîne HI FI ! La courbe audiométrique représente donc un test intéressant, de l'oreille musicienne.

Mais cette courbe ne régit pas que la perception du timbre. Les expériences que nous avons eu l'occasion de faire systématiquement au laboratoire sur certains problèmes spécifiques (fanfares en coulisse à l'Opéra, accusées de jouer faux...etc), ont montré qu'un même son, très riche (trompette par exemple), filtré de ses harmoniques aigus, sonne plus bas ! Si l'oreille d'un musicien filtre le suraigu, le résultat sera le même; ce sujet ne sera pas d'accord avec d'autres sur la hauteur et la justesse des sons riches en harmoniques. Le test d'audiométrie tonale classique est donc très important pour comprendre le jugement porté par un auditeur à la fois sur le timbre et sur la hauteur des sons... Si les musiciens possédaient leur audiogramme, cela leur éviterait parfois bien des discussions stériles !

...../

Rappelons à tout hasard ici que le vieillissement de l'oreille produit inévitablement, et pour tous, une chute graduelle de la perception dans le suraigu d'où des " querelles de générations " entre musiciens ! Cette observation m'a conduit à réaliser un test complémentaire pour définir la " fréquence de coupure " de l'oreille

2°) Test de fréquence de coupure de l'oreille

Les audiomètres classiques se limitent à 6000, 8000, au mieux 10 000 Hz. Je pensais que c'était insuffisant; cela s'est vérifié par la suite ! En effet, sur mes sollicitations, un jeune électronicien (Gérard VELLAY) me construisit un petit générateur de sinusoïdes montant jusqu'à 20 000 Hz permettant de faire un test simple. On monte le niveau du générateur au maximum et on demande au sujet de rechercher la fréquence où il cesse d'entendre le sifflement. A l'aide de cet appareil j'ai pu relever la " fréquence de coupure " des oreilles de nombreux musiciens. Cette " limite aigüe de perception " est extrêmement intéressante à connaître. Mieux que l'audiogramme tonal, elle informe instantanément sur l'état de l'oreille relativement à la perception des fréquences aigües, régissant partiellement celles des timbres et de la hauteur. Les résultats statistiques obtenus sont éloquents. La fréquence de coupure varie à l'extrême. Sans parler des cas pathologiques. Nous avons vérifié en effet que les enfants entre 6 et 10 ans entendent couramment jusque vers 18-20 000 Hz; les jeunes gens jusque vers 15 000; les personnes très âgées jusque vers 4-5 000 Hz seulement. On tire dès lors aisément les conclusions quant aux divergences d'opinions entre oreilles musiciennes jeunes et âgées...

3°) Test de pouvoir séparateur de la hauteur

Il est facile à réaliser pour peu que l'on dispose d'un générateur de sons électroniques (signaux carrés ou en dents de scie de préférence). On enregistre successivement sur bande trois, quatre ou plus de sons de deux hauteurs légèrement différentes. Les intervalles seront par exemple d'un cent, d'un savart, d'un comma etc... On présentera un tel test (fig.6) en demandant simplement combien il existe de notes hautes et de notes plus basses dans l'échantillon proposé; le pouvoir séparateur de hauteur de chacun sera vite apprécié ainsi. Nous avons vérifié d'importants écarts d'un sujet à l'autre; personne ne discerne le " cent "; certains le savart... le plus grand nombre réagit à partir du comma (ce qui justifie les affirmations des musiciens. Certains ont cependant besoin d'un cinquième de ton pour percevoir une différence...

4°) Test mélodique

On vérifie facilement que lorsqu'une mélodie inconnue est jouée trop vite certains sujets n'entendent pas certaines notes ou les intervertissent avec d'autres qui les précèdent ou les suivent. Le test que j'ai réalisé avait pour but de vérifier les limites temporelles de perception d'une formule, d'une " forme " mélodique. Ce test peut être aisément réalisé en utilisant des sons synthétiques et un ordinateur doté d'une sortie " son ". On procède de la façon suivante (fig.

On réalise une série de courtes formulettes mélodiques, comportant chacune entre 3 et 10 notes. On s'arrange pour passer cette formule, sans changer la hauteur des sons, à une vitesse tellement grande que personne n'y discerne absolument plus aucune note. Puis on ralentit par degrés la ligne mélodique (tout en lui conservant toujours la même hauteur), jusqu'au point où le sujet a saisi exactement la ligne mélodique, qu'on lui demande de chanter ou d'écrire en signes

musicaux classiques ou conventionnels. Le test peut être fait collectivement. Il est extrêmement instructif et montre que certains " saisissent " une forme mélodique à un tempo double, voire triple, de certains autres sujets... Dans ces conditions, il est évident que les premiers sont susceptibles de capter beaucoup plus d'information musicale dans les musiques rapides; ceux-là remarquent bien si, dans tel trait rapide de violon, le musicien a joué toutes les notes, s'il les a jouées juste etc...

J'ai refait un test identique avec 10 mélodies populaires, sensées être connues de tous (Au clair de la lune, Frère Jacques etc...); il est étonnant de constater les différences entre les " tempi " où les sujets reconnaissent les mélodies

5°) Test harmonique

Certains sujets très entraînés, sont capables de discerner dans un ensemble de sons musicaux (accord d'orchestre, de piano) un assez grand nombre de sons élémentaires. Le test est facile à faire, mais les résultats sont peu intéressants car :

- ils dépendent à peu près exclusivement de l'entraînement à la dictée musicale qu'ont subi les sujets testés.
- ils dépendent largement du fait que l'un utilise ou non des sons " consonants " (selon Helmholtz), des accords dissonants, ou des accords de sons n'ayant entre eux aucune relation musicale classique (mélange de fréquences quelconques).

Ce test ne concerne que les musiciens entraînés en dictée musicale.

6°) Test de finesse de perception des timbres

C'est une recherche en cours. L'opération consiste à présenter un échantillon de musique réelle, riche en sons variés de hauteur et de spectres différents; puis, à l'aide d'un filtre de réjection, on coupe une bande étroite, que l'on élargit jusqu'au point où l'auditeur commence à percevoir une nette différence qu'il est capable de définir à l'aide des termes utilisés par les musiciens pour définir les particularités de timbre des sons musicaux. J'ai essayé par cette méthode de définir les " bandes sensibles " de la musique; mais c'est une expérimentation longue et difficile. Il est clair qu'il faut d'abord avoir l'audiogramme de chaque sujet, car si l'un d'eux est " sourd " entre 6 et 8000 Hz par exemple, la réjection de cette bande sera pour lui d'effet nul, alors que l'effet peut être considérable pour tel autre sujet.

C - TEST DE PERCEPTION DE L'INTENSITÉ.

1°) Test de pouvoir séparateur d'intensité

Dans la pratique instrumentale, les musiciens font des nuances d'intensité assez fines; mais il ne faut se faire aucune illusion quant à la relation entre la nuance d'intensité et le niveau acoustique en décibels. Lorsqu'un musicien joue plus faible ou plus fort, il modifie surtout le spectre des sons, ce à quoi il est très sensible. Les tests que j'ai mis au point consistent à faire écouter des séquences d'un même son dont on modifie l'intensité systématiquement. On demande combien

de fois l'intensité a changé. Les expériences que j'ai faites en faisant comparer des sons sinusoïdaux (sans timbre...) d'intensité différente seulement, ont montré qu'une différence de 5 ou 6 décibels est à peine perçue. Ceci justifie incidemment l'imprécision de la notation de l'intensité sur les partitions : 7 nuances, entre le triple fortissimo et le triple pianissimo. Ces 7 échelons suffisent en effet, il faut tenir compte de l'accommodation automatique de l'oreille sur le niveau grâce au système ossiculaire asservi par voie réflexe. De ce fait, l'intensité absolue des sons musicaux, n'a aucun sens, à 25 ou 30 décibels près. Ce qui importe musicalement, par contre, c'est le voisinage immédiat des variations d'intensité. Finalement le pouvoir séparateur d'intensité est peu intéressant : l'intensité ne véhicule que peu d'information musicale.

2°) Test de la dynamique de l'oreille

Ce qui est sans doute plus important, c'est la dynamique supportable par l'oreille. En effet, pour telle oreille, tout fortissimo dégénère perceptivement en bruit confus de saturation, alors que telle autre oreille supporte aisément les forts niveaux et y discerne très nettement le contenu musical. La dynamique supportable est liée, elle aussi, au système ossiculaire, en particulier aux performances des deux muscles. Lorsque les muscles deviennent inefficaces (cas pathologique, vieillissement etc...) la dynamique ^{supportable} baisse. Ne supportent les musiques à forte dynamique que les semi-sourds ou ceux dont les muscles ossiculaires sont " performants "... Les autres sont naturellement attirés par les instruments " doux " à faible dynamique (flûte, etc..). Pour les raisons que j'ai précisées plus haut, un test pour apprécier la dynamique est difficile à réaliser; mais on peut avoir une idée approximative de la dynamique d'un sujet en lui demandant de régler un ampli de chaîne d'audition jusqu'au point où il trouve l'audition " confortable ". Le " recrutement " représente un cas particulier de très faible dynamique.

En résumé, la musique est d'abord et avant tout perception du temps, puis de la fréquence. Les tests fréquence-temps sont pour cette raison beaucoup plus significatifs lorsqu'il s'agit de " mesurer " l'oreille musicienne. Signalons le seul " manque " dans la série de tests que j'ai réalisée et essayée : c'est celui du pouvoir séparateur et de la fréquence de coupure dans le grave. J'avais fait naguère des tentatives dans ce sens, en essayant de faire préciser aux sujets les points où des impulsions successives fusionnent pour donner un son musical, mais la sensation de fusion (fréquence de coupure grave) est tellement incertaine ici qu'il est bien illusoire d'escompter des résultats significatifs. De toutes façons les sons très graves en musique ont généralement des durées d'établissement tellement longues qu'ils ne peuvent de toute façon convoyer beaucoup d'information musicale. Ils ne sont utiles que pour donner une " fondation " solide sur laquelle reposera l'édifice musical. Un test de pouvoir séparateur ou de sensibilité aux très basses fréquences ne présente donc de ce fait que peu d'intérêt; de plus, il faudrait, pour le réaliser, fabriquer un appareillage électro-acoustique spécifique onéreux et encombrant !

V. L'OREILLE MUSICIENNE IDEALE

Nous disposons donc désormais des appareillages et des méthodes nécessaires pour apprécier, éventuellement mesurer, les performances de l'oreille relativement à la musique. Nous avons défini des critères, des pouvoirs séparateurs, déterminant la " finesse " de l'oreille dans les domaines du temps, de la fréquence, de la hauteur

du timbre, de l'intensité éventuellement. Mais une question va dès lors se poser : existe-t-il une oreille musicienne idéale ?

On pourrait imaginer naïvement que l'oreille musicienne la meilleure est celle qui possède en tous points des performances maximales. Mais le système auditif est une " machine ", et l'expérience montre qu'en tous domaines, la machine la meilleure n'est pas celle qui possède les performances maximales, mais celle qui possède les performances optimales, celle qui est adaptée au problème à traiter. Dans le cas de l'oreille musicienne, quelles sont donc les performances nécessaires et suffisantes ? Pour le savoir, il faut évidemment d'abord avoir une idée claire de la structure physique de la musique. Il est en effet bien évident que si la musique ne contient pas de sons et de phénomènes plus courts que 5 millisecondes, il ne servira de rien d'avoir une oreille capable de discriminer la milliseconde....

Nous avons analysé des milliers de sons musicaux et constaté qu'on y trouve souvent des phénomènes très brefs, de l'ordre de la milliseconde (dans les transitoires par exemple). Mais est-il intéressant, lorsqu'on écoute de la musique, de discerner dans le détail les moindres éléments des transitoires. Rien n'est moins évident ! Bien sûr, le propriétaire d'une oreille à très haut pouvoir séparateur temporel percevra plus d'information dans un transitoire rapide que son camarade moins doué ; mais n'oublions pas que les instruments de musique produisent tous des bruits parasites de fonctionnement qu'il vaut mieux, esthétiquement, ne pas percevoir et qui n'apportent musicalement rien puisqu'ils ne sont de toutes façons pas désirés par les exécutants... De même, si l'on écoute un disque sur une chaîne haute-fidélité avec une oreille à pouvoir séparateur temporel exceptionnel, on sera très gêné par les petites " crachements " dus aux poussières qui ne font que gêner le plaisir de l'écoute. De même encore, si on possède une oreille à fréquence de coupure très élevée, on sera gêné par les composantes suraiguës de tel ou tel instrument : tout paraîtra acide, " vert ", criard, insupportable. Je connais particulièrement bien ce problème... A l'époque où, jeune je fabriquais des violons, je disposais d'une oreille anormalement sursensible dans l'aigu. Cela était un handicap, car mon jugement subjectif sur la qualité des timbres ne cadrait que rarement avec celui des usagers de mes instruments. Ainsi, pour mon usage personnel, je préférerais de loin, à l'époque, les instruments filtrant fortement l'aigu - qui paraissaient sourds à d'autres....

Voici donc le problème posé ! Nous savons que les systèmes auditifs diffèrent énormément d'un individu à l'autre ; comment dès lors s'arranger pour fabriquer des instruments, composer et jouer des musiques susceptibles de satisfaire tout le monde ? C'est évidemment impossible à priori.

Les instruments de musique et les musiques se sont élaborés empiriquement en tenant compte de l'oreille statistique moyenne. Si un luthier ou un musicien veut " avoir du succès ", il est évidemment obligé de tenir compte de cette oreille statistique moyenne qui, pour lui représente l'oreille idéale !

C'est précisément dans le but de connaître l'oreille statistique que j'ai superposé des centaines d'audiogrammes, relevé de nombreux pouvoirs séparateurs temporels par la méthode des clics etc... Mais si l'on résout les problèmes de la musique en fonction de l'oreille statistique moyenne, il est évident qu'on est sûr de ne satisfaire qu'une fraction, disons 50 %, d'une population normale d'auditeurs...

En fait, dans la pratique, beaucoup de problèmes se résolvent de soi : les " sous-doués ", les " sourds musicaux ", les " amusiques " ne s'intéressent pas à la musique... La musique n'est pas un élément indispensable à la vie ; on peut s'amuser à d'autres jeux pour lesquels on a des prédispositions ! Pour ce qui est des " doués " et des " surdoués " musicaux, ils disposent d'un large champ de manoeuvre. Si tel individu a une constante de temps auditive très courte et des facultés perceptives pour le suraigu, il choisira des instruments et des musiques qui exploitent ces par-

ticularités et placent l'information dans les transitoires et les spectres riches, sur-raigus. Pour tel autre, à constante de temps lente, dont l'oreille est insensible aux hautes fréquences, il choisira la flûte, la contrebasse... Tel autre encore qui n'a qu'un pouvoir séparateur faible pour la sensation de hauteur, s'intéressera aux instruments graves (contrebasse), aux percussions, aux instruments rythmiques etc...

Il n'y a donc pas d'oreille musicienne idéale... mais en fait, il existe dans l'univers musical de quoi satisfaire tout le monde; du moins tant qu'il s'agit du musicien-auditeur, dont le seul but est de rechercher son plaisir personnel.

Mais il est bien évident qu'un problème particulier va se poser pour le musicien professionnel, dont le rôle n'est pas de satisfaire son oreille personnelle, mais celle d'un auditeur placé dans des conditions particulières (dans une salle, devant une chaîne HI FI etc...). Ce cas doit être examiné à part.

VI. L'OREILLE MUSICIENNE PROFESSIONNELLE

Le musicien professionnel est celui qui compose, dirige, joue de la musique pour un public, pour les autres. La composition, la direction, l'exécution de la musique ne requièrent pas du tout le même type d'oreille musicienne.

Le compositeur s'intéresse uniquement à la structure musicale, à la partition à l'aspect mathématique combinatoire des hauteurs et du rythme (BACH). Il peut se contenter d'une oreille tout à fait " moyenne " du point de vue performances, tout comme le professeur de solfège par exemple. Par contre s'il s'intéresse à la " Klangfarbenmelodie ", s'il se propose de jouer avec les timbres (RAVEL), une oreille fine en perception temporelle et fréquentielle lui sera indispensable. Mais un sourd profond peut être un compositeur remarquable (BEETHOVEN) - à condition qu'il ait entendu autrefois et mémorisé au préalable l'allure des sons et les règles combinatoires... Ce qui caractérise le grand compositeur, c'est son " ordinateur ", qui doit nécessairement être hors du commun, car la composition est une combinatoire, et c'est l'ordinateur qui réalise celle-ci.

Le chef d'orchestre. Il est chargé de matérialiser la combinatoire imaginée par le compositeur; il lui faut donc nécessairement la comprendre; ce qui requiert, ici encore, un ordinateur de grande capacité. De plus, le bon chef doit pratiquement connaître l'oeuvre exécutée par coeur : ce qui implique de surcroît des mémoires de très grande capacité (transitoire et mémorisante). Mais le chef d'orchestre se trouve aux prises avec un problème particulièrement redoutable. En effet, de l'endroit où il est placé, il entend les divers instruments de la formation et l'effet d'ensemble tout à fait autrement que l'auditeur - qu'il faut satisfaire en dernière analyse. Comment dès lors régler la " balance " des intensités et des timbres entre les divers instruments pour attirer le contentement du récepteur normal de la musique d'orchestre ? L'acoustique de la salle complique bien entendu encore singulièrement le problème, et il est certain que le métier de chef d'orchestre, en dehors d'une " bonne " oreille, demande un entraînement long et difficile...

Du point de vue des performances auditives requises, on est bien obligé d'admettre que l'intensité d'un tutti est beaucoup plus forte pour le chef d'orchestre que pour l'auditeur; il est donc probable que des capacités dynamiques importantes du système (muscles ossiculaires) soient requises - à moins qu'une certaine " surdité " ne soit paradoxalement désirable.... On peut se demander si, pour se placer au mieux dans

les conditions perceptives de l'auditeur, le chef d'orchestre à l'oreille normale n'aurait pas intérêt d'écouter ce qu'il fait avec un casque, un microphone placé dans la salle lui renvoyant ce qu'entend effectivement l'auditeur et lui permettant de régler la musique pour lui. Quoique les effets ne soient pas absolument identiques, on pourrait se demander s'il n'aurait pas intérêt de se mettre un tampon de coton dans les oreilles (je n'ai pas connaissance que l'on ait fait des essais de ce point de vue.) En dernière analyse il n'est donc pas paradoxal de soutenir qu'un chef d'orchestre ne peut être " bon " que s'il possède une oreille tout à fait différente de celle de son auditeur normal, une oreille filtrant l'aigu et atténuant l'intensité; bref une oreille relativement " assourdie " selon l'audiogramme.

Il peut sembler étrange de soutenir que pour faire un bon musicien il faille être " sourd partiel ", mais il est certain que l'on serait fixé si l'on possédait les audiogrammes et les résultats des tests que nous préconisons, en ce qui concerne les chefs d'orchestre réputés comme " bons " ou " exceptionnels ". Malheureusement les musiciens professionnels répugnent à l'idée de tester leur oreille. Si, d'aventure ils font faire un audiogramme et que celui-ci s'écarte des normes fixées par les audiométristes (condition favorable pour leur art...) ils sont affolés ! - et ceci parce que nulle part on ne les a informés de ce qu'est une " oreille musiciennes ".

Il en est d'ailleurs des instrumentistes comme des compositeurs. Voici quelques données utiles obtenues grâce à la collaboration de plusieurs musiciens professionnels.

- Le musicien exécutant professionnel. Voici une expérience que j'ai réalisée naguère dans le but d'éclairer la question posée ci-dessus.

Un violoniste professionnel connu (Blaise CALAME) s'est prêté à l'expérience suivante. J'ai loué la salle de musique de l'Ecole Normale de Musique de Paris et j'ai demandé au violoniste de se placer au point habituel où se met le soliste dans cette salle. Un microphone a été placé juste à côté de l'oreille gauche du musicien, afin de capter ce qu'il entend effectivement. On joue alors une pièce de musique (Début du Concerto de Max Bruch; hautement significatif du point de vue violonistique).

Simultanément, on enregistre donc ce que perçoit le violoniste, mais aussi ce que l'on entend en divers points de la salle (en bas, au milieu et à droite; et en haut, au milieu de la galerie). Les enregistrements étaient faits avec des magnétophones professionnels (NAGRAS).

On commence par réécouter ensuite les divers échantillons en laboratoire. Il apparaît avec évidence (-et c'était prévisible a priori-) que l'auditeur n'entend absolument pas ce qu'entend le violoniste. Ce dernier est d'ailleurs généralement déçu lorsqu'il s'écoute à distance ! ... Il n'est pas habitué de s'entendre avec ce timbre, ces transitoires etc...

Pour objectiver la différence, des sonagrammes ont été tirés, qui montrent à quel point la salle filtre l'aigu (en particulier), introduit des résonances et déforme les transitoires d'attaque. D'autre part, je suis en train de mettre au point une méthode de relevé de la densité spectrale de longue durée, qui a permis de montrer à quel point la balance statistique des bandes fréquentielles (qui régit largement le " timbre ") varie d'une façon extraordinaire selon le point d'écoute en salle (fig.9). Dans tous les cas, les différences avec ce qu'entend l'exécutant sont énormes.

Conclusion évidente de tout cela : le but de tout musicien professionnel exécutant, du soliste en particulier, est de toute évidence de faire plaisir à l'auditeur. Or comment peut-on penser qu'il soit capable de régler son jeu, ses transitoires d'attaque, sa richesse en harmoniques alors qu'il n'entend absolument pas ce qu'il fait à distance ?

...../

Autre conclusion, non moins évidente : si, dans les conditions normale d'écoute un violoniste réussit à satisfaire un auditeur doté d'une " oreille musicienne moyenne c'est que ce musicien a une oreille " anormale " qui " simule " tous les filtrages, résonances, modifications temporelles dus à la distance et à la salle... Dès lors il réglera son jeu en écoutant exactement ce que perçoit en fait l'auditeur. En fait, il modulera dans ces conditions les variables des sons qu'il fabrique de façon à se fasse plaisir à lui-même, mais aussi, bien entendu, à l'auditeur. Mais de toute évidence, il ne sera jamais satisfait d'écouter un enregistrement de ce qu'il a joué....

Conclusion : Être un bon chef d'orchestre ou un bon instrumentiste professionnel nécessite impérativement un système auditif " pas comme les autres ". Cela n'a absolument rien d'un paradoxe ! Ce serait d'ailleurs aisé à vérifier, si les bons musiciens professionnels, instrumentistes, chanteurs, etc... acceptaient l'idée de faire tester leur oreille ! On comprend bien leurs réticences; la plupart d'entre eux n'ayant jamais subi aucun test auditif n'ont pas la moindre idée des particularités de leur " oreille " comparativement à celle des autres musiciens ou auditeurs et s'imaginent souvent naïvement que " l'oreille musicienne idéale " est la leur. Si par hasard ils ont eu un jour des ennuis auditifs et s'ils ont consulté des spécialistes, ils n'osent pas en parler, alors qu'une oreille " anormale " est probablement justement la raison de leurs succès professionnels ! Ce que j'avance n'est pas une vue de l'esprit; quelques rares instrumentistes connus et hautement appréciés ont accepté l'idée de subir les tests que j'ai mis sur pied. La plupart d'entre eux violonistes, organistes, cornistes etc... ont des audiogrammes absolument différents de la moyenne statistique et il serait pourtant difficile de soutenir que cela leur nuit dans leur métier. Au fond on ne peut s'en étonner : pour un violoniste, l'oreille gauche est à 5 cm de la table de son instrument; pour un corniste, l'oreille droite est à quelques centimètres du pavillon du cor, etc... Si ces musiciens avaient des oreilles normales, ils entendraient leurs sons beaucoup trop forts et trop aigus. Alors, ils atténueraient instinctivement la partie spectrale élevée et l'intensité ! Mais les sons fabriqués ainsi perdraient encore de l'aigu et de l'intensité du fait de la salle, et en arrivant à l'oreille de l'auditeur, ils seraient trop " pauvres ", " sourds " etc...

Nous avons insisté longuement sur ces questions parce qu'elles sont importantes. Elles expliquent même probablement le fait qu'un instrumentiste, en vieillissant, est de plus en plus apprécié, alors que son oreille " baisse " de plus en plus dans l'aigu. Alors, hasardons une idée saugrenue... Si vous avez une oreille " normale ", et si vous voulez vous présenter en public, préparez vos concertos et vos solos en... vous mettant un tampon de coton dans les oreilles. Cela ne sonnera plus comme d'habitude et vous gênera au début; mais en faisant ainsi, cela sonnera un peu comme entend l'auditeur. Le tampon de coton (nous l'avons vérifié expérimentalement) ne simule évidemment pas complètement la salle; il n'occasionne que le filtrage (atténuation de bandes), mais ne créera pas de résonances ni de décalage temporel (réverbération); cependant ce sera mieux que rien... Signalons en passant que le violoniste qui nous a prêté son concours a imaginé un écran que le musicien se pose sur la tête pour s'entraîner (Calacoustic) et qui simule mieux la réalité qu'un tampon de coton...

Comme on le voit, ce qui semble paradoxal a priori est finalement très raisonnable et scientifiquement démontrable. Ce qu'il faudrait en fait c'est que tous les musiciens soient informés des particularités de leur oreille, surtout s'ils sont musiciens professionnels. Il est tout à fait regrettable qu'aucun test ne soit fait, et qu'aucune information ne soit fournie aux intéressés dans les écoles de musique, conservatoires etc...

VII. LE SYSTEME AUDITIF EST UN FILTRE ADAPTATIF COMPLIQUE

Sous l'effet de phénomènes vibratoires externes, le système auditif entier se met en vibration : vibrations mécaniques pour l'oreille moyenne et interne, vibrations électroniques pour la cochlée et la mémoire instantanée, images vibratoires pour l'ordinateur de notre cerveau... Bref, le système auditif est un système oscillant composite comportant des maillons mécaniques, électroniques et informatiques. Mais tout système oscillant quel qu'il soit est aussi un filtre : il ne capte et ne transduit pas toutes les fréquences et ne réagit pas à tous les phénomènes temporels ou fréquentiels. Considérons donc le système auditif comme un filtre.

La notion la plus simple dont on puisse faire état à propos des propriétés des filtres est celle, relative aux filtres électroniques, qui fut définie voici un demi-siècle par KUPFMULLER, qui montra que le produit de la constante de temps du système oscillant par la largeur de la bande passante est constant.

C'est ce que traduit la relation simple de KUPFMULLER (1924) :

$$\Delta F \times \Delta t = K$$

Pour les non initiés voici quelques précisions sur cette relation et sur sa signification dans notre problème.

ΔF est la bande passante du système. L'expérience courante montre qu'un système vibrant, mécanique (par exemple une lame ou une plaque de bois) lorsqu'il est placé dans un champ sonore, ne vibre pas pour toutes les fréquences. Telle lame commencera à osciller à partir de la fréquence de 100 Hz par exemple. En augmentant graduellement la fréquence excitatrice, l'amplitude du mouvement va croître jusqu'à une fréquence donnée (pointe de résonance); puis elle diminuera graduellement jusqu'à 1000 Hz, par exemple, où le système ne réagira plus. La " bande passante " de cette lame est donc située entre 100 et 1000 Hz; la largeur de bande est de 900 Hz.

La situation de la pointe maximale (fréquence centrale), entre les deux valeurs précédentes, dépend des dimensions et des modules élastiques du système; l'amplitude maximale dépend de l'amortissement du système; lorsque le matériau présente d'importants frottements internes (matériau mou, spongieux etc...), l'amplitude diminue; mais, corrélativement la largeur de bande passante augmente. Bref, un système amorti possède une large bande passante et réagit pour une large gamme de fréquence. C'est le contraire pour un système non amorti (une lame de métal par exemple).

L'expérience montre d'autre part que plus un système est amorti, plus il " démarre " rapidement lorsqu'on l'excite; ce temps de mise en route du système est la " constante de temps ". Un système non amorti, par contre, donne une durée d'établissement beaucoup plus grande. La constante de temps est donc fonction inverse de l'amortissement - donc de la bande passante.

La signification de la loi de Kupfmuller est claire et montre les limites, les incertitudes des observations en des domaines où, comme c'est le cas pour l'oreille, les deux variables : temps et fréquence sont en présence.

En quoi la loi de Kupfmuller nous concerne-t-elle ici ? Eh bien, une simple expérience va nous permettre de le montrer.

...../

Enregistrons sur magnétophone un évènement acoustique, par exemple une séquence musicale, extraite de la Symphonie Espagnole de Lalo, jouée par BENEDETTI.

Nous allons analyser ces deux séquences au sonographe, une méthode qui est maintenant bien connue de tous. Mais beaucoup ignorent encore que l'on peut procéder à l'établissement d'un sonagramme en choisissant, à volonté, des filtres d'analyse de largeur différente : 10 Hz, 85 Hz, 150 Hz et 300 Hz.

Tirons donc les sonagrammes de la même séquence successivement avec les quatre filtres (fig.10). Les conclusions sont immédiates. Pour le filtre de 10 Hz (fig.10a) on a une très grande précision en fréquence : les raies harmoniques sont très fines. Si notre oreille avait une largeur de bande de 10 Hz, nous percevriions très finement les hauteurs des sons et aussi les petits intervalles entre sons voisins! Par contre en vertu de la loi de Kupfmüller, tous les phénomènes transitoires rapides disparaissent, comme sur le sonagramme (fig.10a). Si notre oreille possède une bande passante très faible, elle ne peut donc s'intéresser aux phénomènes très brefs (structure fine temporelle des sons, transitoires d'attaque etc...) puisqu'elle ne les perçoit pas effectivement. Il existe certainement entre les individus des différences considérables dans la perception du temps et qui conditionnent largement les propriétés de l'oreille musicienne. Notre appareil TFT est précisément conçu pour mesurer cette constante de temps de chacun! Celle-ci explique bien l'attraction de certains musiciens pour des instruments de musiques et des musiques où les mini-fluctuations de hauteur ou de durée sont importantes.

Considérons à présent le deuxième cas (fig.10b) où le même enregistrement musical a été analysé avec le filtre de 85 Hz, cette fois-ci. A présent, on voit apparaître des quantités de phénomènes très brefs, inexistantes en (9a). On observe en particulier les transitoires d'attaque des sons! Par contre, les raies harmoniques deviennent plus floues; la sensation de hauteur aussi, si nous avons une oreille réglée ainsi.

Reprenons toujours la même séquence et analysons-la maintenant avec un filtre de 150 Hz de largeur de bande (fig.10c), et dont la constante de temps est donc nécessairement plus courte. A présent les raies deviennent encore plus floues; mais par contre des détails très fins de variations temporelles rapides se précisent, qu'on ne voyait pas sur l'image précédente (10b), encore moins en (10a)....

Enfin, faisons encore l'analyse avec le filtre de 300 Hz de largeur de bande. Il apparaît à présent des petits phénomènes extrêmement brefs (de l'ordre de la milliseconde); par contre la notion de " hauteur " des raies devient très évanescence !

Conclusion de tout cela: on ne peut tout avoir (finesse fréquentielle et finesse temporelle) avec un système de filtres. Et comme chacun d'entre nous ^{possède une oreille} présente des différences individuelles de constantes de temps et de bandes passantes, chaque auditeur perçoit évidemment une image différente de la même réalité acoustique. Un tel percevra une image floue dans les fréquences, mais nette pour le temps; l'autre verra une image nette dans les fréquences, mais floue pour le temps. Cette simple constatation nous permet de supputer ce qui est en cause lorsque des musiciens ou des auditeurs disputent entre eux sur la hauteur, la justesse, la netteté de jeu etc., sans réussir à s'entendre.

En résumé, si on connaît l'audiogramme tonal d'un musicien, ainsi que sa constante de temps et sa fréquence de coupure, on sait à peu près tout sur les propriétés musicales de son oreille: on comprend ses attractions intuitives et instinctives, ses " goûts " pour tel ou tel instrument, telle ou telle musique. Il n'y a en fait pas de mystère.

Un point important reste à résoudre. Si le système auditif était un filtre complexe figé, il est évident qu'on ne pourrait comprendre la possibilité d'être attiré

à la fois par la précision des hauteurs musicales et aussi par les raffinements de timbre liés aux transitoires, puisqu'il existe une impossibilité fondamentale de percevoir simultanément les deux types de finesse.

La réponse est simple. Le système auditif n'est pas un filtre fixé une fois pour toute, figé dans ses caractéristiques; c'est un filtre adaptatif, susceptible de modifier celles-ci dans un champ visiblement très large chez beaucoup de musiciens et un filtre composite, mécanique, électronique et informatique.

- Filtre mécanique :

Si les muscles ossiculaires tendent fortement le tympan et la fenêtre ovale, le système capteur mécanique verra ses propriétés (amortissement, constante de temps) se modifier. Nous avons fait des expériences précises pour le montrer, dont nous avons parlé lors du GAM - sur le thème " Mécanique et acoustique de l'oreille moyenne (n° 49 : Juin 1970).

- Filtre électronique :

C'est la cochlée et les mémoires....

- Filtre informatique :

Nous avons montré ailleurs que le système auditif était capable de pratiquer une écoute sélective. C'est par exemple le problème des musiques ethniques où chacun entend ce à quoi il a été conditionné! Nous apprenons par exemple les échelons d'une certaine gamme. Lorsque nous écoutons des musiques à évolution de hauteur plus ou moins continue, nous ne pouvons traiter toute l'information qui y est contenue. Alors, nous ne repérons au passage que les " bornes " que nous avons apprises, celles pour lesquelles nous avons stocké un " programme " dans notre "ordinateur". Et en fait nous n'entendons que ces " bornes ", ces notes. Tous les musiciens occidentaux qui ont " noté " sur une portée des musiques ethniques ont été victimes de ce " filtrage informatique "; j'ai moi même fait des expériences pour le vérifier.

Bref, le système auditif est un filtre composite réglable dans un champ large, on comprend qu'un auditeur puisse régler son " banc de filtres " de façon optimale, selon qu'il désire percevoir les finesses temporelles ou bien les finesses fréquentielles. Bref, nous sommes capables de pratiquer plusieurs types d'écoute, volontairement ou non.

Dès lors, il est clair que l'oreille musicienne idéale est celle qui est capable de régler ses filtres le plus largement possible. Non seulement le possesseur d'une telle oreille pourra s'intéresser également à toutes sortes d'instruments ou de musiques; mais encore, il sera à même de comprendre les jugements des uns et des autres, relativement à ces musiques. Il est certain que nous sommes très inégalement doués, les uns et les autres quant aux capacités de réglage de la constante de temps et de la bande passante de notre système auditif. Le simple fait d'en être conscient évite des discussions et des disputes sans nombre et sans fin.

Signalons en passant que les auditeurs pratiquant l'écoute d'ordre proche (musiques sans macro-structure temporelle) ne peuvent apprécier les musiques " sensuelles " que si leur oreille est très sensible aux petites fluctuations temporelles. Rappelons aussi la boutade d'un de nos amis : " on ne commence à aimer les percussions qu'à partir de 40 ans " (c'est-à-dire quand notre système musculaire commence à s'amortir, ce qui améliore certainement la constante de temps!).

En résumé, le système auditif est formé d'une série de maillons qui sont en fait des " filtres " temporels ou fréquentiels et pour tester ce système les trois tests :

...../

audiogramme tonal, fréquence de coupure et pouvoir séparateur temporel suffisent pour que les caractéristiques " mesurées " définissent complètement l'oreille musicienne à peu de choses près.

Convaincus de ce fait, nous avons réalisé l'appareil TFT, où il s'agissait de regrouper sur un petit appareil qu'on peut emmener dans sa serviette, les moyens de relever l'audiogramme tonal, la fréquence de coupure et le pouvoir séparateur d'un sujet donné.

VIII. LE TEST FREQUENCE-TEMPS et L'APPAREIL TFT

Pour établir un cahier de charges de cet appareil, j'ai commencé par imaginer et réaliser les tests avec l'outillage dont je disposais... Pour le test de pouvoir séparateur temporel, j'ai mis au point une méthode pour inscrire les clics sur bande magnétique. La méthode s'est avérée parfaite; mais il faut disposer d'un bon magnétophone pour lire ce test et faire attention à l'effet de copie etc... Mais on peut céder autrement : pour un électronicien, tout est possible actuellement, pour peu qu'il ait un peu d'imagination. Nous avons la chance de temps à autre de pouvoir faire fabriquer des appareillages spéciaux, introuvables dans le commerce, grâce au Laboratoire d'électronique du département de Mécanique de l'Université de Paris VI (dont nous dépendons). Ainsi, grâce à MM. SIESTRUNCK, SAPALY et COTIN nous avons pu réaliser l'ICOPHONE et le CANTOR, et, tout récemment l'appareil TFT (fig.11), permettant de faire les trois tests de base nécessaires et suffisants pour définir l'oreille musicienne (Test Fréquence-Temps) :

1°) Le test de pouvoir séparateur temporel

La question de fabriquer des impulsions de Dirac d'une durée d'une milliseconde est soluble; celle de fabriquer un " programme " pour les répartir irrégulièrement, dans des délais que l'on puisse régler à loisir, a dès lors été étudiée. Un " appareil à clics " a donc été réalisé très récemment, qui fonctionne parfaitement; il permet de se passer de bande magnétique et de magnétophone. Intérêt de cet appareil : il est très petits, et " programmable " sur place, instantanément.

2°) Le test de fréquence de coupure aiguë, où l'on se propose de relever la fréquence la plus aiguë perçue par chaque oreille, jusqu'à une limite de 20 000 Hz (que n'atteignent jamais les audiomètres. Gérard VELLAY m'avait construit un prototype). Nos électroniciens ont construit par la suite une deuxième petit appareil, extrêmement efficace et pratique, permettant en quelques secondes de connaître les limites de perception fréquentielle d'un sujet.

3°) L'audiogramme tonal classique

Comme on a prévu sur le générateur basse fréquence un bouton de réglage gradué de l'intensité, on peut faire avec ce petit appareil un véritable audiogramme tonal classique, mais en continu, et jusqu'à 20 000 Hz... (ce que ne permet pas l'audiogramme classique).

Comme le pouvoir séparateur temporel, la fréquence de coupure et l'audiogramme tonal sont les éléments déterminants pour caractériser les propriétés " musicales " du système auditif, l'idée s'est faite d'associer les trois appareils requis en un seul; c'est précisément l'appareil " T F T " (test fréquence-temps), qui vient d'être réalisé. C'est un appareil de petites dimensions (9 x 14 x 21 cm pour le modèle actuel), et qui est d'utilisation facile.

4°) Les tests collectifs

Avec le TFT, il est facile de faire des tests collectifs, dans les conditions normales d'écoute, et pour tout un auditoire. L'idée de ces tests collectifs s'est imposée pour les raisons suivantes :

Dans les tests qui précèdent, on fait des relevés successivement sur l'une puis l'autre oreille, en utilisant un écouteur avec embout que l'on introduit dans le canal auditif afin d'éviter les interférences du bruit de fond. Mais il m'est rapidement apparu important de ne pas faire ces tests dans une chambre sourde. En effet, dès qu'un sujet entre dans une chambre sourde, il éprouve un certain malaise. Le bruit de fond tombe en effet très bas (25 dB par exemple, au lieu d'un bruit de fond de quelque 50 dB dans un local silencieux normal, à Paris) et immédiatement l'oreille (système ossiculaire) s'adapte à ce bruit de fond : le sujet entend sa respiration, le battement de son coeur etc... Bref, dès que l'on est dans une chambre sourde, l'oreille n'est plus du tout dans un état de fonctionnement normal; et dès lors on teste évidemment un système auditif anormal, qui ne fonctionne pas comme d'habitude.

D'autre part, tester une oreille après l'autre présente évidemment le gros intérêt, en cas de déficience auditive, de pouvoir localiser l'oreille défectueuse; mais ce n'est pas là notre propos... Si l'on veut tester l'oreille musicienne, il faut bien tenir compte du fait qu'un auditeur normal écoute simultanément avec ses deux oreilles! J'ai proposé naguère dans ce but de "résumer" les deux audiogrammes tonaux en un seul, en prenant, pour chaque fréquence, la "meilleure oreille". On a de cette façon une courbe unique représentant bien mieux l'oreille "d'un sujet dans les conditions normales d'écoute..."

Pour terminer, voici encore un point important. Il est bien évident que l'audition de la musique inclut la présence d'une salle d'écoute, dont l'acoustique modifie les signaux rayonnés par la source, donc ceux qui sont perçus par l'auditeur in situ.

Il est bien sûr tentant de faire les tests précités individuellement, en chambre très silencieuse, etc... Ceci permet d'obtenir des résultats précis, reproductibles, satisfaisants pour l'esprit scientifique; mais on éprouve ensuite les plus grandes difficultés à raccorder les résultats des tests avec les réactions normales des sujets lorsqu'ils sont mis dans des conditions normales d'écoute.

C'est pourquoi j'ai pensé intéressant de faire des tests collectifs, tenant compte des conditions normales d'écoute. Ils sont faciles à faire avec le TFT. Il suffit de brancher les sorties sur un amplificateur et un haut-parleur de bonne qualité. Pour le test de pouvoir séparateur temporel (clics) on règle le niveau de façon que tous les sujets d'un groupe, installé normalement dans une salle d'écoute donnée, perçoivent bien les clics (intensité moyenne, à régler sur place, à la demande des auditeurs : audition confortable). On fabrique 10 programmes de clics que le manipulateur avec un peu d'entraînement règle aisément sur place en notant les intervalles qu'il choisit de telle façon qu'avec 10 séquences par exemple, il ait utilisé plusieurs fois tous les intervalles temporels (entre 2 et 100 millisecondes). Les auditeurs notent simplement, en colonne, le nombre de clics perçus. Dix échantillons suffisent pour définir le pouvoir séparateur temporel d'un auditoire, compte tenu de la "meilleure oreille" de chacun, de sa place dans le local et de l'acoustique de celui-ci.... On sait dès lors ce que chacun est susceptible d'appréhender dans les conditions où il se trouve : les résultats sont réalistes....

On procède de même pour la fréquence de coupure. On affiche successivement une série de fréquences-types, entre 8 et 20 000 Hz; par exemple 10, 12, 16, 20 kHz, en mettant le niveau du TFT au maximum. On demande aux sujets de compter le nombre de "coups" que l'on produit en appuyant, à l'insu de l'auditeur, sur la capsule sensor. On demande encore aux sujets, de noter simplement en colonne verticale le

nombre de coups éventuellement perçus. En très peu de temps, on connaît la fréquence de coupure de chacun, dans les conditions d'écoute où il se trouve et compte tenu de sa " meilleure oreille ".

Un audiogramme tonal collectif utilisant quelques fréquences bien choisies est facile à faire de la même façon. On affiche successivement 200, 1000, et 5000 Hz par exemple, et, pour chaque fréquence, on utilise trois niveaux-type donnés (faible-moyens-fort). On relève rapidement de cette façon un audiogramme tonal simplifié, suffisant, montrant la gamme de fréquences musicales perçues dans les conditions de place considérées et l'oreille de chacun.

Ces tests collectifs mériteraient d'être développés; ils permettraient de repenser certains aspects de l'acoustique des salles...

Bref, le TFT trouve d'innombrables applications pratiques pour tous ceux qui s'intéressent à la musique perçue : musiciens, luthiers, fabricants d'instruments, preneurs de son, auditeurs, critiques d'art, membres de jurys musicaux etc... Le luthier pourra enfin " prendre la mesure " de l'oreille de son client, ^{et} s'il connaît son métier, lui faire un instrument " sur mesure " : avec un ou deux " ^{et} essayages " ! Car un bon luthier sait bien ce qu'il faut faire pour ajouter ou ôter " du grave, de l'aigu " du " mordant " etc., ou pour rendre un violon " nerveux " ou " rond "... Aux musiciens cela évitera d'innombrables discussions stériles : on ne se dispute plus lorsque l'on se comprend...

On reparlera donc sûrement du T.F.T.....

IX. CONCLUSIONS

Après avoir sommairement rappelé ce que j'entends par les mots " musique " et " oreille ", j'ai proposé une série de tests que j'ai imaginés et utilisés dans le but d'apprécier les propriétés temporelles, fréquentielles, tonales dynamiques etc... du système auditif humain. Puis j'ai tenté de tirer des conclusions sur ce qu'à mon sens signifiait exactement le mot " oreille musicienne ". Le problème est beaucoup plus compliqué et délicat qu'il n'apparaît à première vue, et il faut absolument distinguer plusieurs cas tout à fait différents selon que l'on considère le point de vue du musicien professionnel, du compositeur, du chef d'orchestre, de l'instrumentistes, et celui de l'auditeur normal de musique, de l'exécutant amateur etc...

En fait, il n'existe pas d'oreille musicienne idéale; chacun possède une " oreille " particulière, que les tests proposés ici permettent de définir relativement aux problèmes de la musique. Ce qui apparaît clairement c'est qu'un musicien professionnel apprécié par le public possède nécessairement une oreille " anormale ", s'écartant de la moyenne statistique. C'est une condition sine qua non pour satisfaire un auditeur à distance nous avons vu pourquoi; mais c'est aussi une gêne, un ennui, parce que dès lors ce musicien, lorsqu'il devient auditeur, ne peut porter sur ce qu'il entend un jugement qui soit susceptible de s'accorder avec celui des auditeurs " ordinaires ". Il est actuellement impensable qu'une personne s'occupant à un titre quelconque de questions où " l'oreille " est directement en cause ignore les caractéristiques de la sienne propre et de celle des auditeurs pour lesquels il travaille! Dans l'intérêt de tous, il est évident que tout preneur de son, tout critique musical tout musicien devrait connaître les performances de son oreille personnelle, tout fabricant d'instruments de musique, tout accordeur de pianos celles de l'oreille de ses clients... C'est désormais chose facile puisque l'appareillage T.F.T. existe et que la méthode est au point

E. LEIPP

Paris 26 Avril 1976

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - DORGEUILLE (Dr. C) : Le problème de l'audition musicale confronté aux données de l'anatomie, de la physiologie et de la pathologie des fonctions auditives. Journées d'Etude du Festival International du son. Ed. CHIRON, Paris (1968).
- 2 - LEIPP (E) - Métrologie et audition. Précision et adéquation des méthodes en acoustique auditive. Conférence au Groupement des Acousticiens de Langue Française (GALF) juin 1974. A paraître dans REVUE D'ACOUSTIQUE.
- 3 - LEIPP (E) - Un test réaliste d'intelligibilité de la parole. Conférence au GALF, Avril 1975. A paraître dans REVUE D'ACOUSTIQUE.
- 4 - LEIPP (E) - La machine à écouter; un essai de psycho-acoustique. Traité en cours d'impression chez MASSON (1976).
- 5 - LEIPP (E) et MOLES (A) - Aktuelle Probleme des experimentellen Geigenbaues Gravesaner Blätter n° 19-20 (1960) p. 85 ...
- 6 - LEIPP (E) - La musique, langage ou jeu ? Congrès Musique et Langage organisé par l'UER " Techniques de Réadaptation " de LYON en nov. 1975 (Prof. MORGON) à paraître.
- 7 - LEIPP (E) - Les musiques expérimentales, leur passé et leur avenir. Bulletin GAM n° 78 (mars 1975); Compte rendu de la réunion avec le GMEB.
- 8 - LEIPP (E) - Acoustique et Musique. Traité d'acoustique musicale chez MASSON, Paris (1971) en cours de réédition.
- 9 - FRANCES (R) - La perception de la musique, chez VRIN, Paris (1958).
- 10 - LEIPP (E) - L'écoute de la Haute-Fidélité. Comptes-rendus des Conférences des Journées d'Etude du Festival International du son. Ed. RADIO, Paris (1976).

D I S C U S S I O N

La discussion a été quelque peu écourtée en raison de l'heure tardive et de la température ambiante (30°C en salle...) Voici cependant quelques points soulevés.

M. DEFOSSE (André) : preneur de son RTB Bruxelles : " Vous avez bien séparé les divers problèmes pour nous les exposer; mais ne pensez-vous pas que les modifications de timbre entraînent aussi des modifications de hauteur, par exemple ?

...../

M. LEIPP : C'est un problème que nous connaissons bien; je n'ai pu tout dire... La hauteur est aussi liée à l'intensité des sons. En tout cas le problème de la perception de la hauteur n'a rien à voir avec la fréquence du fondamental; c'est un problème d'écartement des raies spectrales d'un son. L'écartement des barreaux d'une échelle peut être apprécié sans s'occuper de la " hauteur " du premier barreau... Il en est de même pour les sons musicaux; mais c'est là un problème de perception qui ne faisait pas vraiment l'objet de notre réunion; il faudrait un jour faire une réunion à part sur ce sujet; on tâchera d'y penser...

M. X. (Belgique) : Pensez-vous qu'un creux de 60 dB dans un audiogramme soit un empêchement pour faire le métier de preneur de son ?

M. LEIPP : Je vous ai fait écouter de la musique dans laquelle on coupait à l'aide d'un filtre de réjection des bandes variées; cela correspond à une simulation d'un " creux " dans l'audiogramme. Vous avez remarqué qu'à aucun moment cela empêchait de saisir la musique, d'entendre les notes, d'apprécier les fluctuations de timbre et d'intensité etc... Cela signifie que si votre oreille coupe une bande donnée (à conditions que ce ne soit pas une bande importante entre 100 et 5000 Hz) vous entendez tout simplement la musique avec une autre couleur que les autres auditeurs; mais il est bien évident que cela peut être parfois un avantage. Faisons une analogie vision-audition, tout à fait légitime de ce point de vue. Si votre œil atténue une bande spectrale donnée, vous verrez tous les objets avec leur forme, vous les reconnaîtrez parfaitement et serez capable de les manipuler, de les fabriquer etc... sans que cela ne gêne personne car vous serez tout à fait d'accord avec tout le monde sur les formes perçues simplement, vous ne verrez pas les objets avec les mêmes nuances de couleur... Est-ce que cela vous empêche d'être artiste peintre ? Je n'en suis absolument pas convaincu; tout au contraire. Il est bien connu que plusieurs grands peintres très avaient des défauts de vision absolument manifestes qui ont certainement été à la base de leur originalité... Bref, en prise de son vous savez bien que des goûts et des couleurs... J'ai eu l'occasion de tester, avec mes tests deux ou trois preneurs de son professionnels, appréciés : ils n'avaient pas une oreille " normale ".... et je crois que c'est tant mieux pour eux; mais il serait intéressant de faire une statistique de ce point de vue; la méthode et l'appareillage existent; le TFT sera sans doute fabriqué un jour... Si en Belgique on exige un audiogramme normal pour embaucher un preneur de son, c'est mieux que rien; mais il est bien évident que l'audiogramme ne représente qu'une petite partie du problème : le plus important, la perception de temps est omis.

M. MULLETIN : Les preneurs de son utilisent des puissances acoustiques énormes, voisines du seuil de douleur dans leur métier; cela m'a toujours frappé.

M. LEIPP : Vous abondez dans mon sens : s'ils avaient une oreille " normale " il est certain qu'ils ne pourraient supporter longtemps des niveaux au seuil de douleur... Il faudrait donc déjà commencer par tester l'oreille des bons preneurs de son avant d'imposer aux candidats preneurs de son une épreuve sélective comme me l'audiogramme.

M. BORREDON : En vieillissant, les chanteurs perdent de l'aigu

M. LEIPP : Il est bien connu depuis longtemps (Stevens) que l'oreille baisse graduellement en sensibilité dans l'aigu avec l'âge. Bien entendu il faut d'abord savoir d'où est parti un sujet : s'il est sursensible dans l'aigu à 20 ans, la " perte " sera plus faible à 60 ans que pour celui qui part d'une oreille normale à 20 ans. Mais la règle est générale et il est bien possible qu'un chanteur émettant des sons très intenses, ait petit à petit une atténuation de l'aigu que
pres de son oreille

L'on peut considérer comme une " maladie " professionnelle, susceptible d'être générique pour lui : je me suis assez longuement expliqué là dessus j'espère... De toutes façons, le musicien percevant de moins en moins les aigus en vieillissant, sera tenté de " forcer " sur les aigus pour rétablir l'équilibre qu'il recherche intuitivement. Il serait tout à fait intéressant de faire une recherche statistique, avec mes tests d'audition, sur l'oreille de musiciens professionnels; mais comme ils sont mal informés, ils s'imaginent qu'une perte d'audition dans l'aigu est un défaut qu'il faut soigneusement cacher - alors que c'est en fait un avantage professionnel....

M. Y. : On fait grand tapage sur le fait que l'oreille gauche serait l'oreille faite pour entendre la mélodie...

M. LEIPP : J'ai lu diverses publications scientifiques sur ces questions, surtout américaines. On raisonne à partir de tests faits avec des artefacts et impliquant un grand nombre de variables qu'on veut ramener à une seule... La presse de vulgarisation s'empare de quelques résultats, déjà très discutables en soi, généralise, et ensuite on raconte des histoires ridicules que la plus simple observation des faits contredit. Bouchez-vous donc successivement l'oreille gauche ou l'oreille droite en écoutant la 9ème ou le quatuor de Debussy : vous verrez bien ce qu'il en est vous-même, avec un tout petit peu de bon sens.

Il est certain, et j'ai bien insisté là-dessus dans mon schéma fonctionnel du système auditif, que les fonctions ont une existence réelle, que les organes que l'anatomie nous décrit sont bien localisés. Les " images " mémorisées dans notre cerveau et qui nous servent de référence, sont matériellement présentes dans nos " tiroirs mémoriels " sous forme moléculaire sans doute (ADN etc.); donc elles sont bien localisées quelque part. Mais rien ne dit que tout le monde classe sa " bibliothèque " sonore de la même façon, que les mêmes sons se trouvent dans les mêmes " rayons " pour tout le monde... On touche une fois de plus du doigt les difficultés qu'éprouvent les physiologistes et aussi l'ennui d'utiliser des artefacts et des méthodes qui sont inadéquates. Si vous voulez savoir comment fonctionne un ordinateur, ce n'est pas en enfonçant des aiguilles dans la machine et en relevant la forme des courants électriques que vous captez en certains points, que vous obtiendrez des informations réalistes...

M. Z. : Pourtant l'expérience des gens qui font du Morse sur les bateaux - on l'a démontré statistiquement - montrent que l'oreille droite se spécialise mieux que la gauche dans la lecture et la reconnaissance du Morse.

M. MULLETIN : Je crois pouvoir vous répondre, étant ancien marin... Les spécialistes du morse sur les bateaux n'écoutent les signaux que sur un seul écouteur, placé en général sur l'oreille droite; avec l'autre oreille il écoutent les émissions de " France Musique "... Leur oreille droite s'habitue ainsi à écouter du morse, s'entraîne, et devient peut-être plus habile à cause de l'entraînement. Mais de là à affirmer que l'oreille droite est faite, naturellement pour écouter des mélodies ou du morse!.

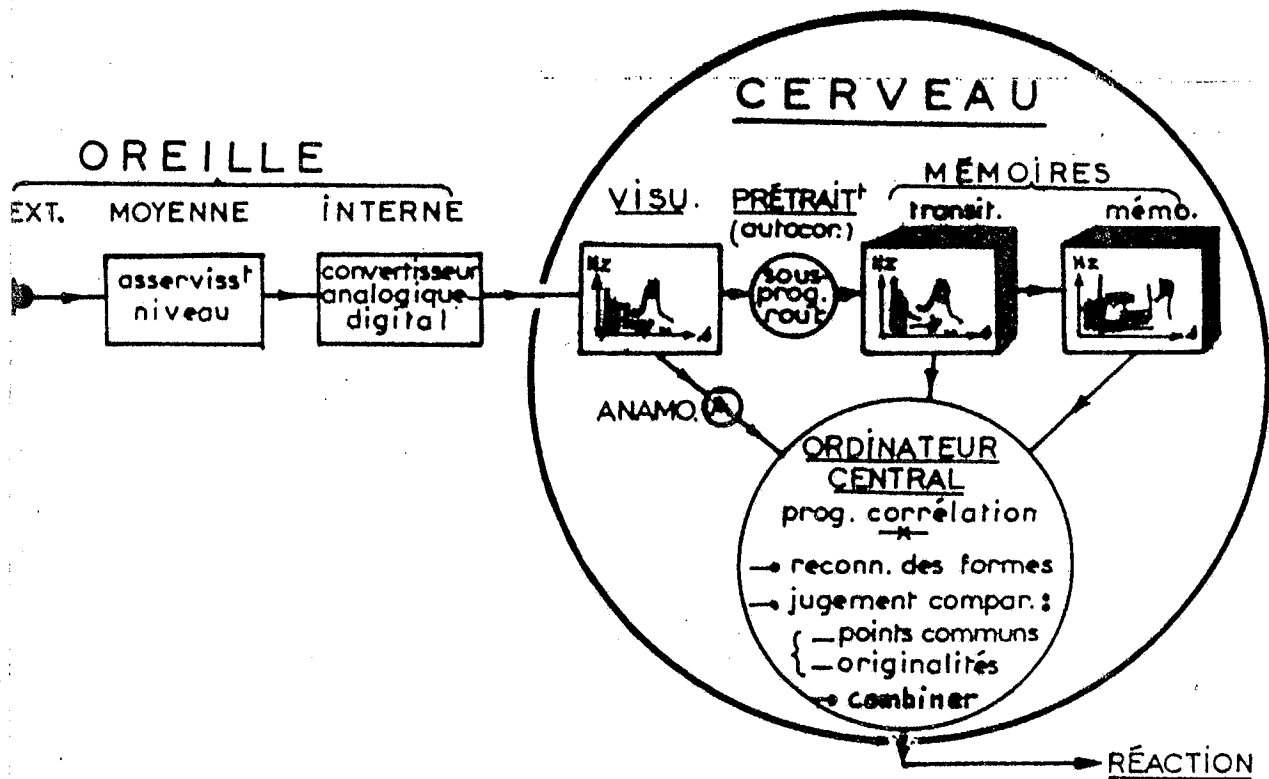
M. LEIPP : C'est comme la main : on peut " dresser " la droite ou la gauche à faire la même chose. Si vous êtes sourd d'une oreille, il vaut mieux écouter avec l'autre; si vos deux oreilles sont identiques, vous pouvez toujours entraîner l'une à faire un travail de routine tandis que l'autre peut bien s'occuper d'autre chose, si votre " ordinateur " est assez gros pour faire du " time sharing "...

G.A.M. N° 85 - PEUT-ON TESTER L'OREILLE MUSICIENNE - E. LEIPP

Mme BOREIL MAISONNY : L'expérience montre en effet que dans telles circonstances on prend l'habitude d'écouter telle chose avec telle oreille. Mais on pourrait le plus souvent prendre l'autre ; il suffirait de s'entraîner un peu, et cela dépend des conditions matérielles pratiques, souvent.

M. LEIPP : Dans tous les cas, je pense que les praticiens ayant affaire aux sons de parole ou musique, auraient intérêt de connaître leur oreille - leurs oreilles. " Connais-toi toi même " est une vieille formule ! Je trouve simplement déplorable que les preneurs de son, les musiciens professionnels, les étudiants des Conservatoires ne soient absolument pas informés de ces questions. C'est pourquoi j'ai pensé utile de faire cette réunion, où, selon la tradition ; je ne prétend pas " vider " le problème, mais le poser correctement en fonction des recherches personnelles que j'ai faites sur le sujet.

1



MODÈLE FONCTIONNEL DU SYSTÈME AUDITIF (LEIPP)

Le système auditif représente une chaîne de communication de messages acoustiques comportant des maillons de nature différente :

- Mécaniques : oreille externe et moyenne. Cette dernière ayant la fonction de réglage automatique de l'intensité (syst. A.L.C.) permettant d'éviter la "saturation" des maillons suivants
- Electroniques : Cochlée (convertisseur analogique-digital), mémoires (stockage d'images fréquence-temps)
- Informatiques : un ordinateur et une mémoire centraux pour reconnaître, comparer, combiner les images en présence.

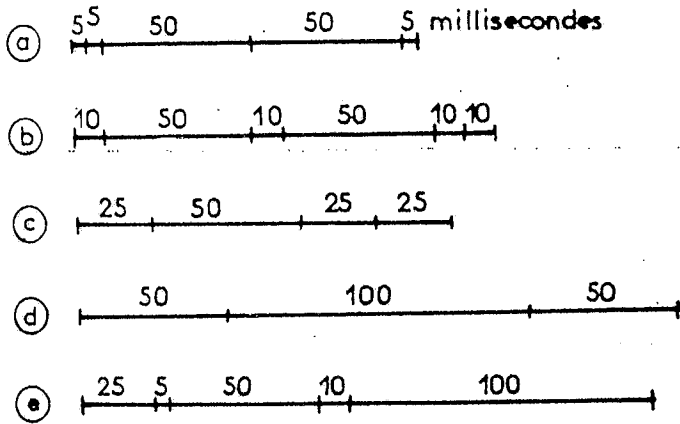
Le système comporte deux maillons de prétraitement des images saisies :

- Un micro-ordinateur assurant le prétraitement de simplification des images (autocorrélation)
- Un micro-ordinateur assurant l'anamorphose des images pour les ramener dans un cadre normalisé

L'ensemble du système représente en fait un filtre. Selon ce qu'il laisse passer l'oreille sera ou non musicienne, compte tenu du contenu des mémoires relevant du conditionnement socio-culturel de l'individu.

TEST de CLICS (Pouvoir séparateur temporel)

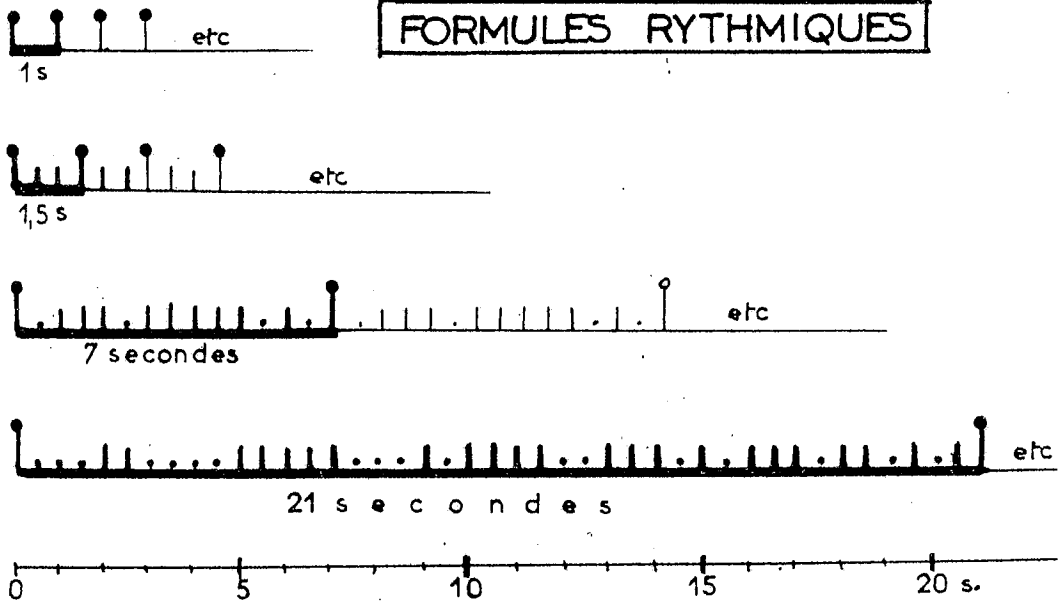
2



30%	≤ 10 ms
20%	≤ 25 ms
45%	≤ 50 ms
5%	≤ 100 ms

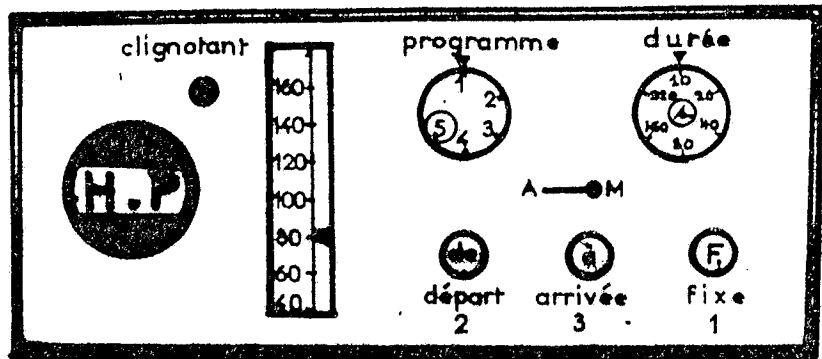
3

FORMULES RYTHMIQUES

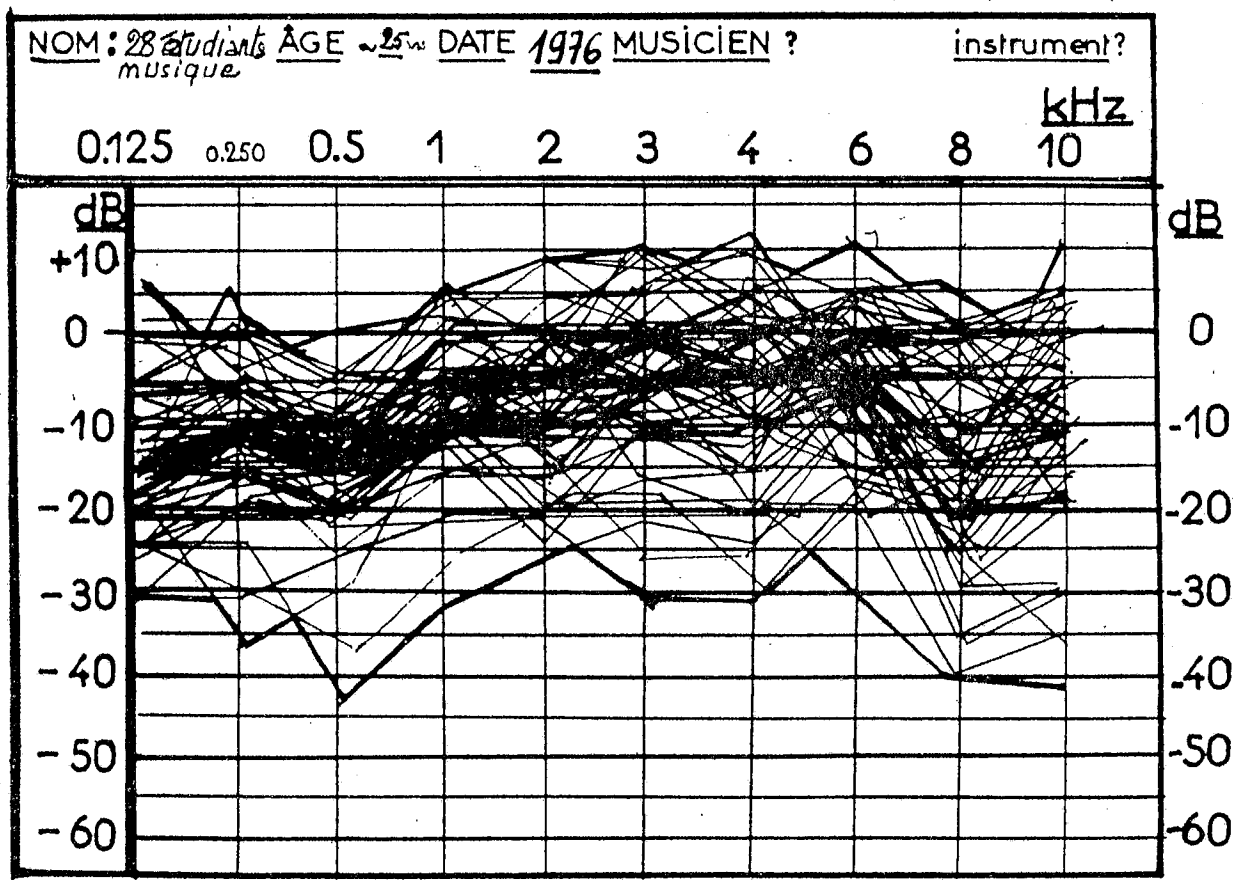


4

MÉTRONOME PROGRAMMABLE



5



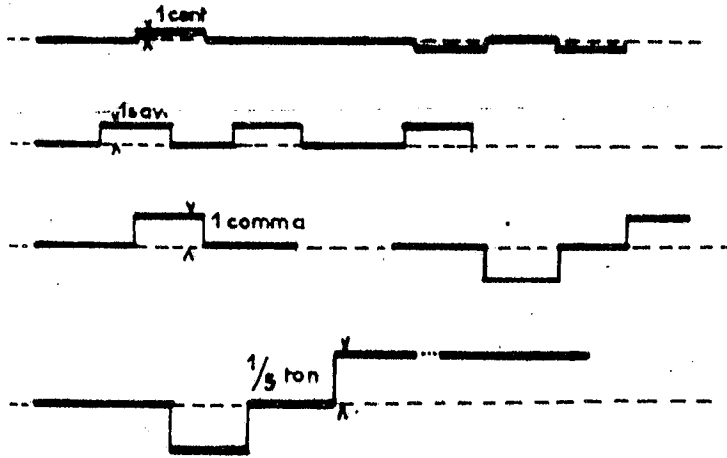
AUDIOGRAMME TONAL de 28 sujets

- On a superposé les audiogrammes des étudiants du cours d'acoustique : âge moyen ~25ans, tous musiciens ou auditeurs entraînés

- La dispersion est énorme : 40 à 50 décibels. Il est donc évident que ces sujets "normaux" ne peuvent être d'accord entre eux lorsqu'il s'agit d'appréciation subjective sur les timbres - et même la hauteur des sons (aigus en particulier)

- Tout musicien devrait connaître son audiogramme tonal : on éviterait ainsi bien des discussions stériles...

6



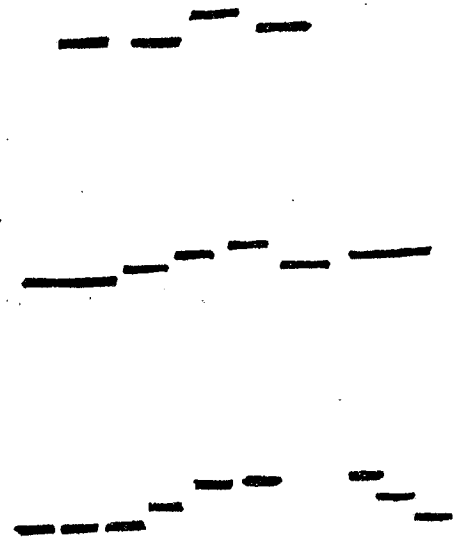
La plupart des sujets ne discerne ni le "cent" ni le savart, surtout dans un contexte musical normal...

7

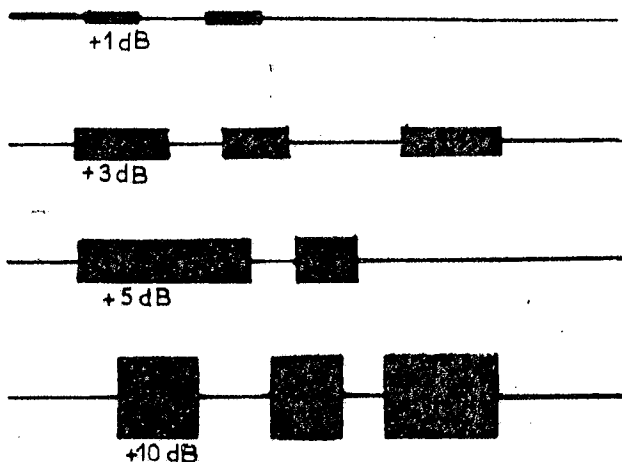
DICTÉE MUSICALE RAPIDE

NOTATION SIMPLIFIÉE

Les "formulettes mélodiques" défilent à raison de 128, 64, 32, 16 et 8 notes par seconde dans cet exemple de test mélodique. Les virtuoses ne dépassent guère 15 notes par seconde...

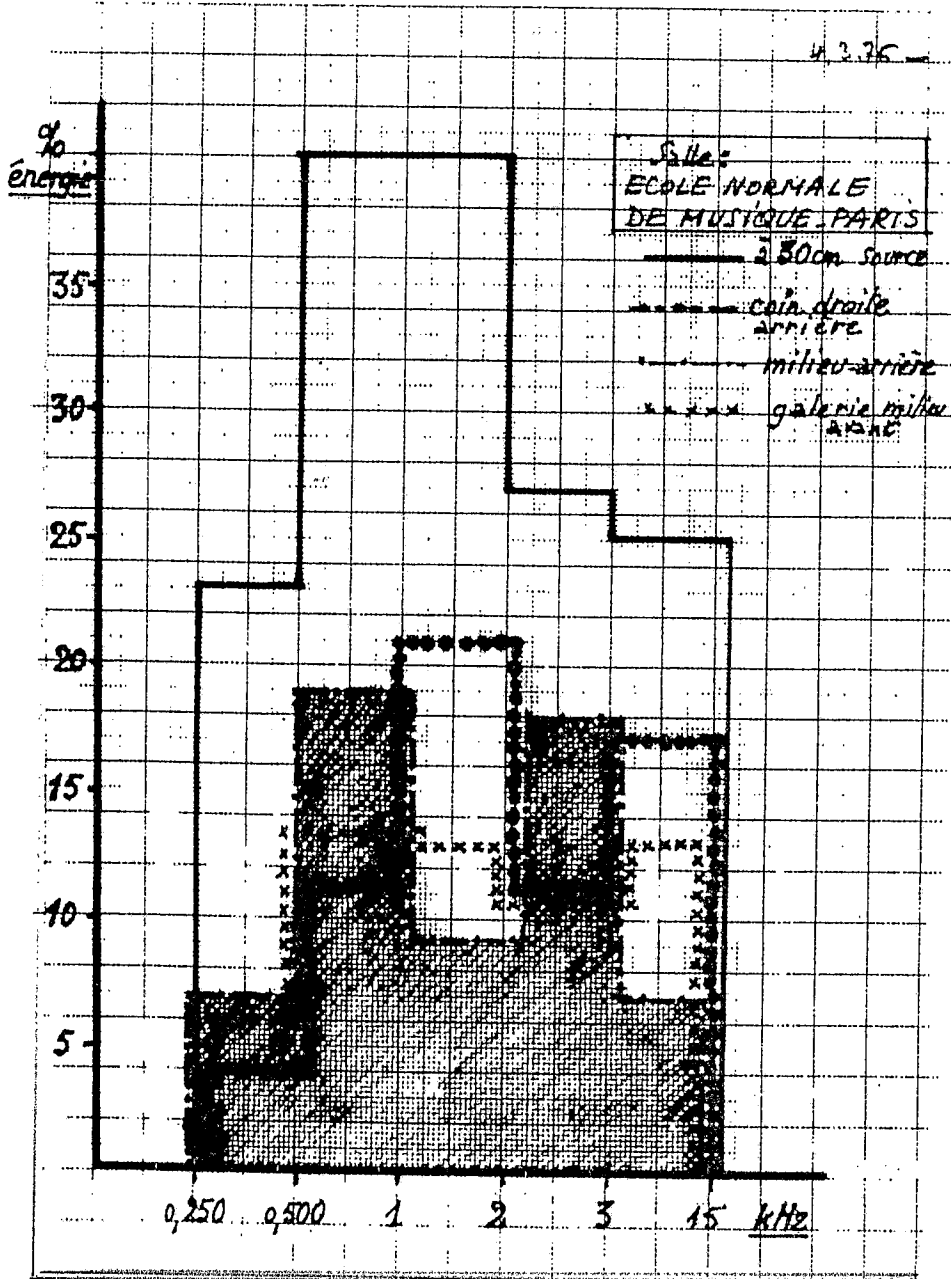


8



L'intensité est de loin le paramètre musical le moins important parce que le système auditif est très imprécis, la sensation étant très largement fonction du contexte musical (adaptation du système ossiculaire.)

9

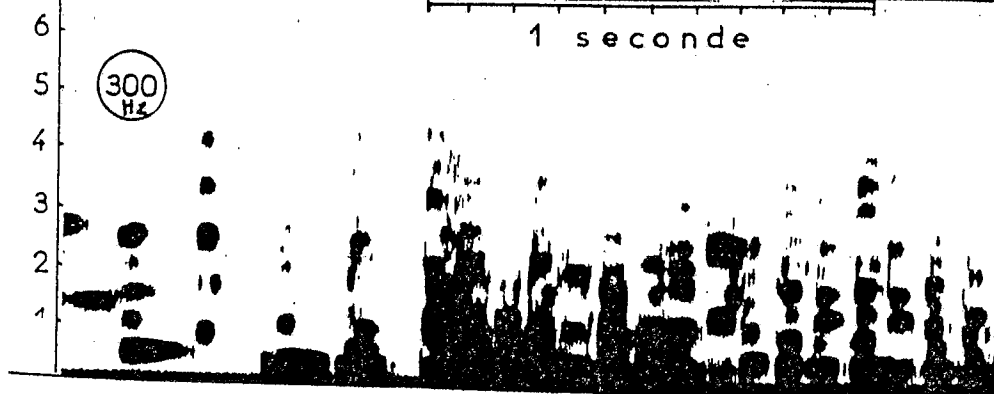
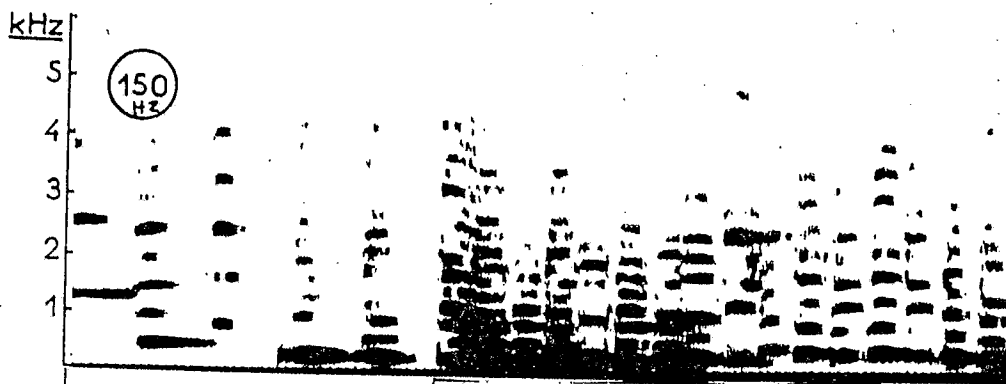
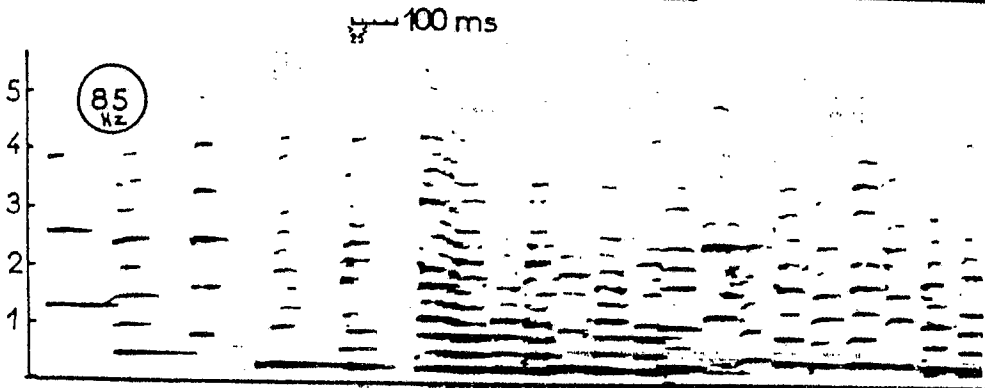
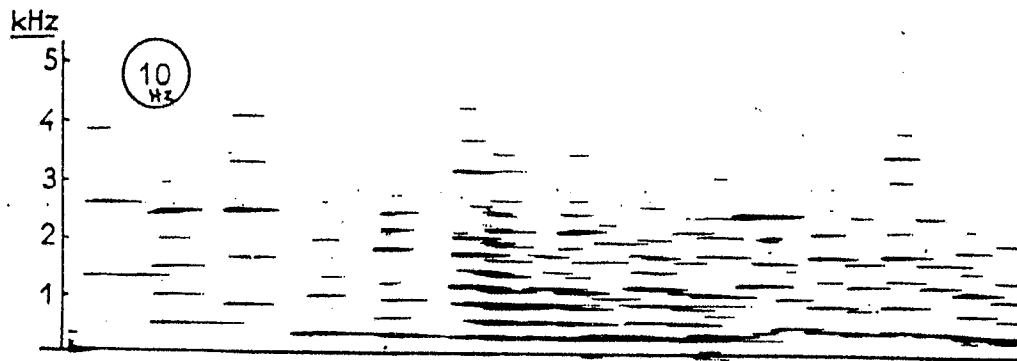


PERCEPTION DE LA MUSIQUE EN DIFFÉRENTS POINTS D'UNE SALLE

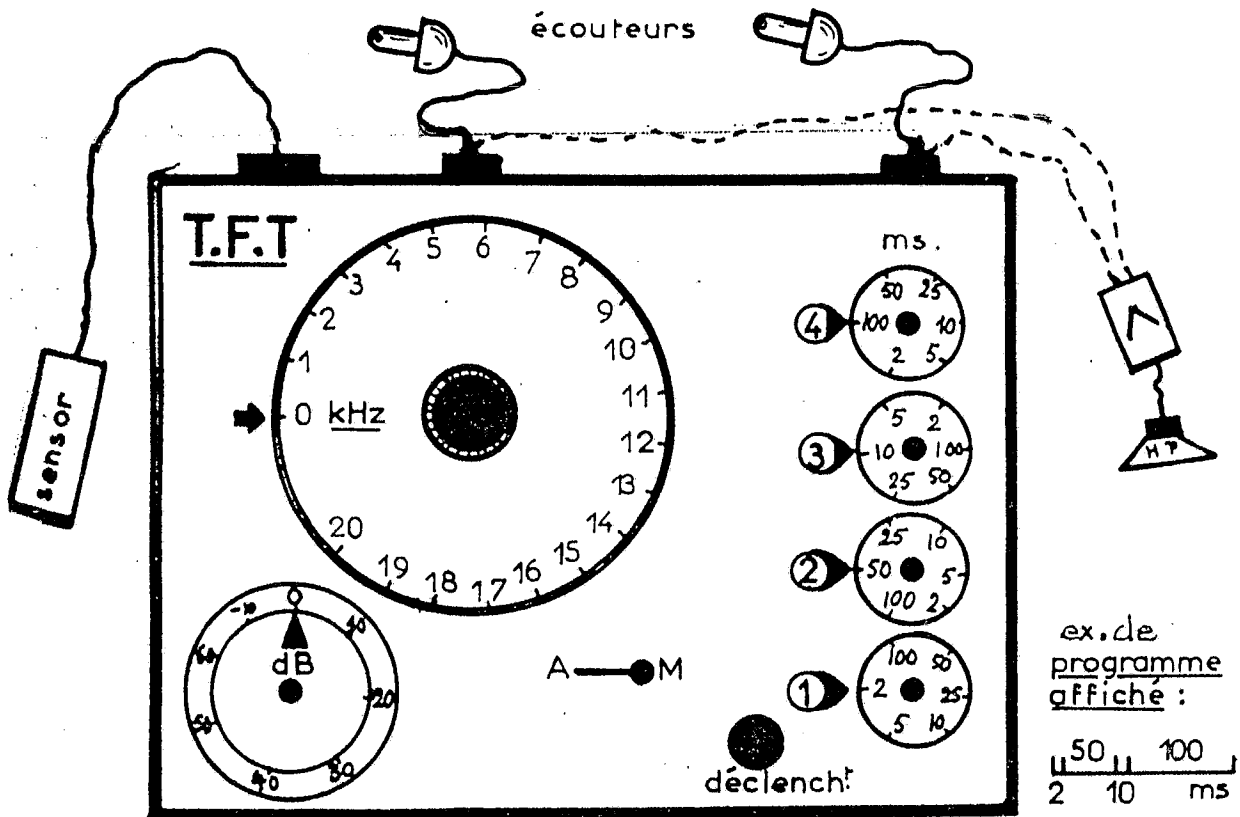
On enregistre simultanément au voisinage de la source et en trois points d'une salle de concert une pièce de musique (concerto de Max BRUCH pour violon ici).

La méthode que j'ai mise au point consiste à relever dans des "bandes sensibles" que j'ai déterminées expérimentalement l'énergie répartie dans le temps. Les courbes sont très significatives des différences de timbre, de "musicalité" aux diverses places. Il est clair que le musicien n'entend pas la même chose que les auditeurs : pour régler son jeu, une oreille "normale" est loin d'être une condition idéale.

10



Si on considère le système auditif comme un "banc de filtres" disposés en série, on conçoit aisément que la même "image" musicale soit perçue très différemment selon les caractéristiques globales du système filtrant. Ceux qui écoutent avec une bande passante de 10 Hz peuvent "raffiner" sur la hauteur; avec 300 Hz, la finesse de l'écoute est temporelle... La bonne oreille musicienne est capable de régler les "filtres", donc de choisir le type d'écoute...



L'appareil T.F.T. (Test Fréquence-temps)

L'oreille musicienne peut être décrite, en fait, à l'aide de trois tests :

- L'audiogramme tonal classique
- La fréquence de coupure supérieure
- Le pouvoir séparateur temporel

Le T.F.T., en un seul appareil compact permet de faire ces trois tests en quelques minutes.

Le test temporel est particulièrement facile à réaliser :

les boutons (1) - (2) - (3) - (4) permettent en effet de "fabriquer" instantanément un programme, variable à loisir, en réglant les intervalles successifs indiqués en millisecondes sur chaque bouton.

La "bande" passante de l'oreille testée est évidemment fonction inverse de la "constante de temps" trouvée.