

Sept ans

d'activité au G. A. M.

Groupe d'Acoustique Musicale

Conférence de

M^{elle} CASTELLENGO

donnée à l'ARPLOE le 16 janvier 1971

Nous avons aujourd'hui le plaisir de recevoir Mlle CASTEL-LENGO, collaboratrice de M. LEIPP, du Laboratoire d'Acoustique Mécanique de la Faculté des Sciences de Paris, et, grâce à elle, nous aurons une communication sur un sujet très en marge de l'orthophonie : les activités du G.A.M.

Ce qu'est le G.A.M., vous le saurez tout à l'heure.

Certains se demanderont peut-être quelle relation il peut bien y avoir entre un groupe scientifique adonné à des recherches d'acoustique musicale et l'orthophonie.

Je dois dire que le lien me paraît être dans la nature des choses, si vital même qu'une séparation hors de propos ne pourrait que nuire à l'existence de l'un des deux partenaires et, à longue échéance, peut-être des deux. Expliquons-nous.

Il n'est pas question de confondre deux domaines, celui de la musique, celui du langage, mais que ce soit dans le passé, que ce soit dans le présent, l'homme a toujours l'esprit occupé sur l'un des deux versants de la pensée et de la sensibilité. De plus, il s'agit toujours d'entendre et nous ne pensons pas que physiologiquement il puisse y avoir deux processus.

Que trouvè-je tout au début de ma carrière de rééducatrice ?

un phonéticien : ROUSSELOT

un linguiste et grammairien : PICHON

un philologue latiniste : HAVET

un pédagogue musicien : THIBERGE...

Nous rencontrons :

TARNEAUD, un laryngologiste phoniatre

GUILLAUME, un linguiste

LAFON, un otologiste

ce n'est pas un palmarès... ce sont des noms attachés à des investigations ou des travaux qu'il ne nous est pas possible d'ignorer.

Quels cas ai-je eu à éduquer au début ? des divisions palatines, des retards de parole, un sourd même, que je rééduquai sans comprendre qu'il était sourd et une curieuse enfant... qui chantait et ne parlait pas, et, habitée par le rythme et la mélodie, ne comprenait pas un mot de langage. Or, de cette étrangeté est née ma « rythmique » dont il faudrait bien que je reparle un jour.

Et parmi les collaboratrices qui voulurent bien m'aider... une musicienne, j'ai nommé Mlle DINVILLE.

D'autre part, les médecins que nous continuons de côtoyer s'in-

téressent sur le plan pathologique à la voix, à la parole, à l'audition certes, mais aussi au langage et au psychisme...

Sans cesse nous avons rencontré des problèmes qu'une connaissance univoque « des symptômes » pathologiques et du « présumé normal » n'aurait pas permis d'aborder de façon valable.

Il y a un certain temps, nous avons convié M. BRAUNER et Mlle GOSPEN à nous découvrir l'importance d'un apport musical dans l'éducation de grands débiles.

Il y a deux ans, à Lyon, nous avons la joie intense, lors du Congrès sur la voix de l'enfant sourd, de nous voir démontrer en quelque sorte qu'en ne développant pas chez nos enfants le goût du son et de la musique nous les privions d'un inestimable trésor.

Or, il ne s'agit pas aujourd'hui de plaider une cause, mais d'expliquer qu'il n'est pas admissible de négliger tout moyen de connaissance qui permet par d'autres techniques que les nôtres de mieux aborder les problèmes qui nous sont posés par la pathologie de la parole, du langage, de la voix, de l'audition, etc...

Hier, M. PIMONOW, en son Séminaire de Bio-informatique, abordait des problèmes de perception et d'information sonore.

M. LEIPP et ses collaborateurs ont rencontré ces mêmes faits qu'ils atteignent par d'autres voies.

En rééducation, les mêmes problèmes encore nous sont posés par des sujets qui n'arrivent pas à parler, qui, tout en entendant, n'arrivent pas à comprendre la parole, sans qu'on puisse incriminer l'arriération mentale. Nous rencontrons aussi les problèmes d'intégration du langage, de temps de réaction, de « pouvoir séparateur des sons »... et ainsi de suite.

Des moyens d'investigation nouveaux nous sont offerts avec des appareils plus perfectionnés. Il n'est pas question pour une seule personne de dominer toutes ces techniques. Encore faut-il ne pas les ignorer !

Il n'y a pas de cloison étanche entre ces domaines et presque toujours les faits s'éclairent les uns par les autres, la solution trouvée par une technique nouvelle s'en va rejoindre celle qu'avait permis d'aborder un autre procédé, et je dois rendre grâce à M. LEIPP et à ses collaborateurs d'avoir rendu si aisées l'approche et la confrontation de divers moyens de comprendre par la rencontre de personnalités venant de bords souvent éloignés en apparence mais qui rendent possible une vision panoramique de faits dont la relation ne peut être niée.

S. BOREL-MAISONNY

Le 23 octobre 1970, lors de la 50^e réunion, M. LEIPP a présenté aux membres du G.A.M. un bilan des activités du Groupement durant les 7 années passées. Ce fut l'occasion de faire un tour d'horizon sur les divers sujets abordés et d'extraire l'essentiel des enseignements que nous avons pu tirer de ces études apparemment disparates.

La création du G.A.M. est liée à celle du Laboratoire d'Acoustique en 1963 à la Faculté des Sciences de Paris, dans le cadre du département de Mécanique du Professeur SIESTRUNCK. Les études du laboratoire devaient porter principalement sur la mécanique et l'acoustique des instruments de musique (d'où le nom acoustique musicale) sur lesquels M. LEIPP avait déjà effectué d'importantes études. Mais on se rend très vite compte qu'on ne peut se borner à l'étude purement physique d'un instrument. Celui-ci est un maillon de la « chaîne de communication » longue et compliquée, qui pose de nombreux problèmes scientifiques et humains. Les trois principales parties de cette chaîne sont l'émetteur, le canal, le récepteur. (Fig. 1).

Tout problème de communication de message, qu'il s'agisse de parole ou de musique, fait intervenir les éléments de cette chaîne. Nous avons donc été amenés à étudier des problèmes variés :

- *électro-acoustique* (micros, haut-parleurs, disques) et acoustique des salles,
- *recherches sur les instruments de musique*, et plus généralement sur tous les émetteurs sonores, appareil phonatoire humain, générateurs de bruits divers,
- *psychophysiologie de la Perception*. C'est le domaine le plus vaste et le plus difficile, mais dont l'étude est indispensable, sinon les autres problèmes perdent leur sens. Ce problème comporte l'étude de la mécanique de l'oreille, la simulation du système auditif (oreille, cerveau, mémoire), à partir duquel on peut expliquer la réaction d'un individu à un signal donné.

Au G.A.M. nous avons abordé les sujets dans un désordre apparent, au fur et à mesure des circonstances et selon nos besoins,

relativement à l'élaboration de notre doctrine. Le plan de cet exposé est donc peu rigoureux, mais on y verra que le fil directeur est toujours le souci de mieux comprendre la perception et l'intégration des signaux acoustiques. Il est clair que les résultats de nos recherches peuvent intéresser des orthophonistes.

Nous apprécions beaucoup la présence régulière de Mme BOREL-MAISONNY et d'autres orthophonistes qui viennent à nos réunions, aussi divers soient les sujets, élargissant ainsi l'auditoire déjà très varié où l'on rencontre principalement des musiciens, instrumentistes, chanteurs, compositeurs, des techniciens de l'électro-acoustique, des informaticiens, des médecins, des architectes, des facteurs d'instruments, etc...

Cette réunion de spécialistes d'origines aussi différentes ne

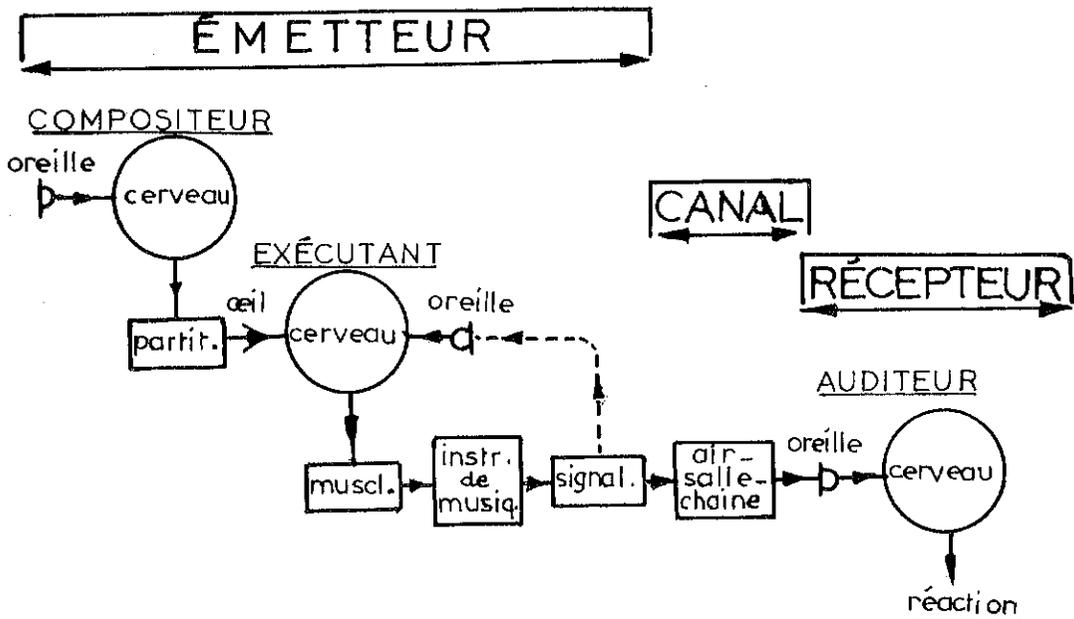


Fig. 1. — LA CHAÎNE DE COMMUNICATION DES MESSAGES ACOUSTIQUES

Développée dans le cas de la musique, cette chaîne de communication se retrouve dans tout problème de communication acoustique avec nécessairement les 3 maillons principaux : émetteur, canal, récepteur. On voit qu'il est indispensable de recueillir des données sur des sujets très divers pour comprendre la fonction ou le fonctionnement d'un des maillons.

va pas sans poser des problèmes de langage commun que nous tentons de résoudre au mieux en précisant chaque fois le sens des mots que nous utilisons.

Voici quelques détails sur les sujets abordés jusqu'alors.

ELECTROACOUSTIQUE ET ACOUSTIQUE DES SALLES

Cette partie de la chaîne qui constitue l'un des « canaux » de communication des messages acoustiques pose en particulier le problème de la déformation des signaux. En effet, ceux-ci sont toujours plus ou moins largement déformés et amputés, qu'il s'agisse de voie aérienne ou électroacoustique. On comprendra pourquoi nous avons cherché à obtenir des renseignements auprès des spécialistes de ces questions au cours de réunions comme : Confidences d'un ancien preneur de sons (PHILIPPOT), Etudes des haut-parleurs (J.S. LIÉNARD et J. LÉON), la fabrication des disques (P. GILOTAUX), l'acoustique des théâtres antiques (F. CANAC). Au cours de l'une des premières réunions « appareillages et méthodes en acoustique musicale », nous avons informé nos auditeurs des possibilités et des limites des appareils électroacoustiques. Chacun de nous est de plus en plus amené à manipuler un tourne-disque, un magnétophone. Lorsqu'on se limite à une simple audition, la notion de qualité de ces appareils reste une notion vague et très personnelle. Si l'on veut utiliser des enregistrements au magnétophone à des fins d'analyses ou faire des tests avec des enfants à l'aide de documents enregistrés, il est bon de connaître les particularités des appareillages et les précautions à prendre afin de ne pas faire des enregistrements inutilisables ou de ne pas tirer des conclusions erronées des tests. Ainsi, il faut s'inquiéter de la vitesse de défilement, de la bande passante, etc... Nos spécialistes nous ont apporté de la lumière sur ces points.

LA REPRESENTATION SONAGRAPHIQUE

Dans nos études nous utilisons couramment le sonagraph. Il n'est pas hors de propos de rappeler ici quelques éléments de base de la représentation sonographique.

Le sonographe fournit trois types d'analyses :

— une représentation tridimensionnelle du son qui est le sonogramme proprement dit, où l'on peut voir la fréquence en abscisse, le temps en ordonnée et l'intensité traduite par l'épaisseur et le noircissement du tracé.

— La courbe d'évolution de l'intensité en dB en fonction du temps (courbe de niveau).

— Le spectre classique, donnant l'intensité en fonction de la fréquence à un instant donné.

Sur la figure 2 on a schématisé quelques signaux types tels qu'ils se présentent au sonogramme.

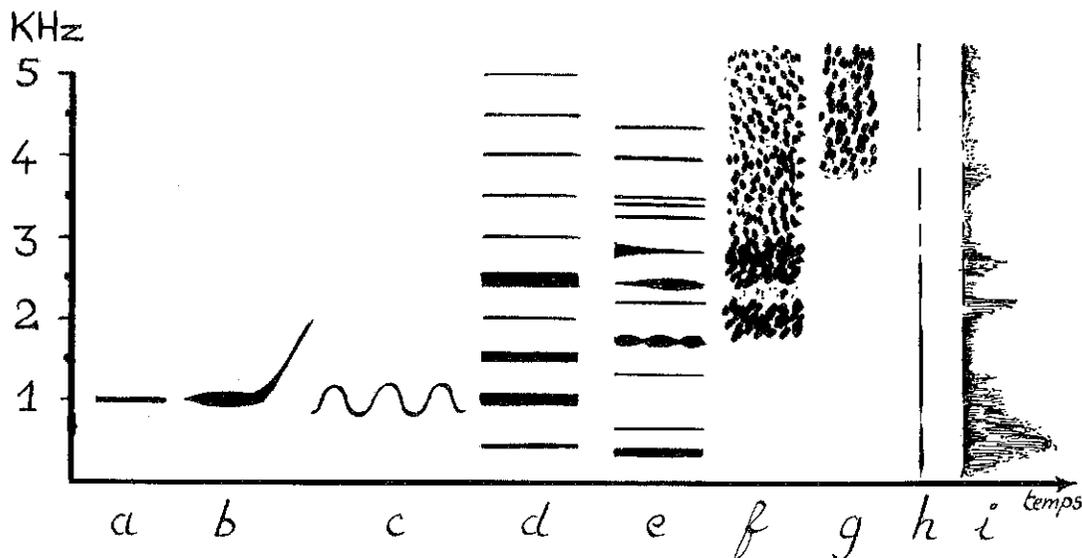


Fig. 2. — SONOGRAMME SCHEMATIQUE DE QUELQUES SIGNAUX ACOUSTIQUES TYPES

- a) Son sinusoïdal de fréquence et d'amplitude fixes. b) Son sinusoïdal d'intensité croissante puis décroissante, se terminant par un glissando de 1.000 à 2.000 Hz. c) Son sinusoïdal affecté d'un vibrato en fréquence. d) Son harmonique de 500 Hz ; les harmoniques sont rigoureusement équidistants. e) Son à partiels (inharmonique) ; le partiel 4 a des battements. f) Bruit coloré du type CH. g) Bruit coloré du type S. h) Choc bref dans une pièce sourde. i) Même choc dans une pièce réverbérante.

Dans les premiers temps du Laboratoire, tout signal acoustique « passait » au sonograph. Nous avons acquis ainsi une grande habitude dans le maniement de l'appareil et le dépouillement des documents. L'expérience nous a montré qu'on pouvait toujours retrouver sur le sonagramme la trace de tout phénomène perçu. La précision en temps et en fréquence, et l'imprécision en intensité correspondent tout à fait aux propriétés du système auditif et de ce fait le sonagramme est un document « parlant », une véritable photographie du son.

ETUDE DES CLOCHES

Il n'est guère possible de donner ici un compte-rendu de tous les instruments que nous avons étudiés : le piano, le violon, l'orgue hydraulique, la régale, les instruments à percussion, la flûte traversière, etc... En ce qui concerne les cloches, les chercheurs utilisaient jusque-là la méthode d'analyse spectrale classique avec bouche fermée et filtre à bande étroite.

Cette méthode a pour inconvénient de ne pas rendre compte de l'évolution temporelle du son de la cloche où les partiels changent continuellement. Le sonagramme, par contre, montre bien les fluctuations d'intensité des composantes dans le temps, fluctuations qui donnent la vie au son. (Voir figure 3 le sonagramme d'un son de cloche).

Une autre caractéristique importante du son de cloche apparaît nettement sur le sonagramme, c'est l'inharmonicité des composantes (trais non équidistants). Cette particularité pose l'important problème de la hauteur du son de cloche.

Lorsqu'on fait entendre une note de violon ou de flûte à des musiciens, tous sont d'accord sur la note effectivement jouée. C'est par exemple un Do, un Sol... aux erreurs d'octave près. Il n'en est pas de même d'un son de cloche. Un musicien bien entraîné peut isoler 5 à 10 sons différents, voire davantage. Aussi, les auditeurs sont-ils rarement d'accord sur la « hauteur » d'une cloche donnée. C'est toute la différence entre la sensation de hauteur déterminée par un son harmonique, dont

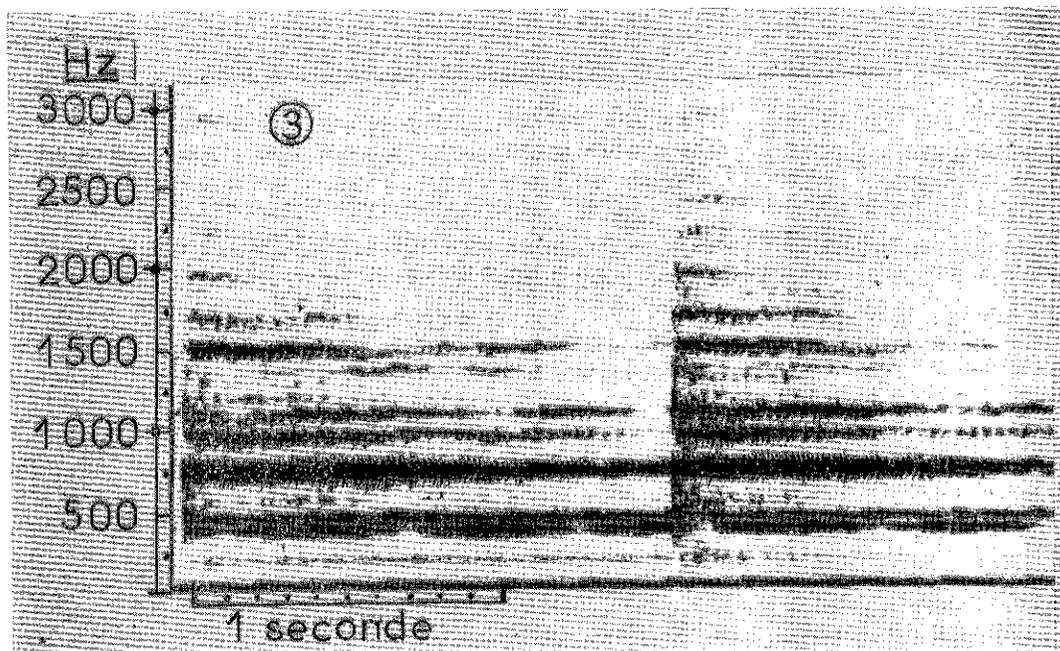


Fig. 3. — ANALYSE D'UNE CLOCHE AU SONOGRAPHE

On constate, au moment du choc du battant, l'apparition des composantes aiguës qui s'éteignent rapidement. Les variations d'amplitude et de fréquence sont très complexes : elles donnent la « vie » au son.

les composantes sont des multiples entiers d'une fréquence fondamentale (sons musicaux entretenus) et celle déterminée par un son à partiels dont les composantes sont quelconques (sons percutés). Cette différence est nettement mise en évidence lors d'expériences de filtrages. La hauteur d'un son harmonique n'est pas affectée par le filtrage : on peut couper telle ou telle bande de fréquence sans modification de hauteur. Par contre, un son à partiels change de hauteur selon la bande passante.

Au cours de la réunion de l'A.R.P.L.O.E. du 16 janvier, nous avons pu entendre un exemple de mélodie jouée sur des tambours africains. Cette mélodie changeait selon la bande passante.

ETUDE DU COR ET DE L'APPAREIL PHONATOIRE

Nous avons eu la chance de travailler avec M. THEVET, soliste de l'Opéra qui maîtrise parfaitement son instrument. Le cor a retenu notre attention parce qu'on peut tirer de nombreux renseignements sur le fonctionnement des cordes vocales, à partir de l'étude des anches lippales. Le mouvement des lèvres pendant le jeu a été décrit par un chercheur américain D.W. MARTIN qui a pu filmer un musicien utilisant une embouchure transparente. Le rôle de l'embouchure (largeur, profondeur, grain d'orge) rappelle celui des bandes ventriculaires ou fausses cordes vocales, en particulier au moment de l'attaque des sons.

Pour régler la hauteur des sons, le musicien joue simultanément sur la longueur vibrante des lèvres, leur tension et leur raideur, sur la pression dans la bouche. Le timbre dépend directement des qualités mécaniques des lèvres : élasticité, dureté, humidité (conditionnant le degré d'accolement).

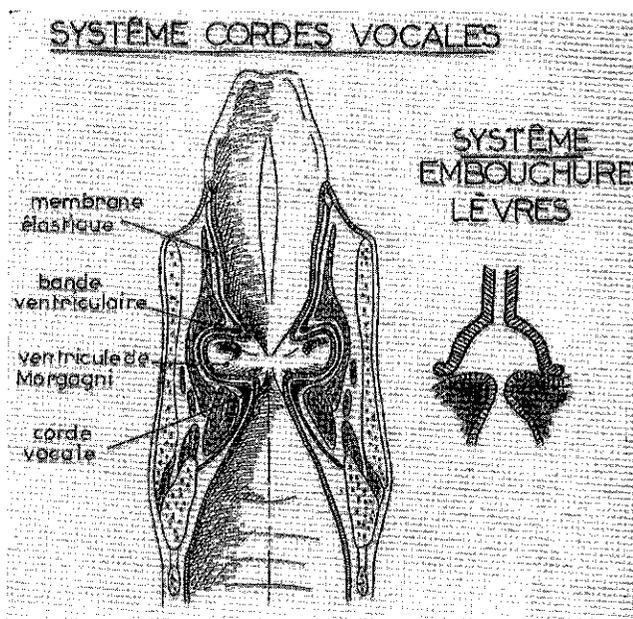


Fig. 4. — PARALLELE ENTRE LE SYSTEME DES CORDES VOCALES ET L'EMBOUCHURE DE COR

Les bandes ventriculaires jouent le rôle de l'embouchure proprement dite, et permettent de régler le diamètre, la profondeur, les dimensions du grain d'orge.

Toutes ces données sont transposables dans l'étude des cordes vocales dont l'analogie avec le système anches lippales + embouchure de cor est clairement mise en évidence par la figure 4. Cette analogie, et d'autres particularités de fonctionnement des cordes vocales ont été développées par M. LEIPP au cours de la réunion : « Mécanique et acoustique de l'appareil phonatoire ».

LA MUSIQUE ET LES INSTRUMENTS DE MUSIQUE EXTRA-EUROPEENS

Après une réunion au cours de laquelle nous avons exposé une méthode de notation des musiques ethniques à l'aide du sonographe, nous avons entrepris l'étude de la musique et des instruments du Viet-Nam, de l'Inde, de la Chine... en collaboration avec M. TRAN VAN KHÉ. Le premier instrument que nous avons abordé, la vièle à deux cordes Viet-Namienne, a été riche en enseignements. Sur le plan de la lutherie : l'instrument est raffiné tant pour l'ouïe que pour la vue. Le souci d'efficacité avec le minimum d'efforts a conduit les fabricants de ces instruments à des trouvailles ingénieuses ; par exemple, pour colophaner l'archet, régler l'accord simultané des deux cordes, modifier le timbre en cours de jeu. Empiriquement l'instrument a été conçu pour agir au mieux sur l'oreille ; le maximum de l'énergie produite se place entre 1000 et 3000 Hz, particularité que l'on retrouve dans la plupart des instruments extra-européens. Lorsqu'on joue les sons les plus graves, on vérifie qu'il n'y a pas d'intensité dans le fondamental, l'harmonique 2 et même l'harmonique 3. On entend donc la hauteur à travers les harmoniques élevés (fondamental subjectif). Il en est d'ailleurs de même pour certains instruments traditionnels européens. Ainsi pour un DO 1 de basson dont la fréquence est de 65 Hz, on ne trouve rien à 65 Hz, ni à 130 Hz, ce qui n'empêche pas d'entendre un son de 65 Hz. Pratiquement, seuls les grands bourdons d'orgue et la grosse caisse fournissent effectivement de l'énergie dans les basses fréquences. Il est important de connaître ces phénomènes lorsqu'on se propose de tester l'oreille aux sons graves.

A travers l'étude des instruments ethniques nous avons été ame-

nés à connaître les musiques pour lesquelles ils étaient conçus. Nous avons vite abandonné cette belle idée simpliste, courante au 19^e siècle, selon laquelle la musique serait un langage universel. La musique est un jeu, conventionnel par définition, auquel on ne comprend rien si l'on n'a pas appris les règles. Pour les musiques monodiques, le jeu consiste à exploiter des raffinements de rythme et de mélodies que nous ne percevons même pas si nous n'avons pas été initiés. Le problème est assez grave avec des musiciens professionnels occidentaux qui ne peuvent oublier leurs habitudes mentales (harmonie, hauteur fixe, rythme régulier) ; ils apprécient les musiques orientales avec des critères qui n'y sont pas adaptés et portent ainsi des jugements erronés. Toutes ces études nous ont permis de mettre en évidence le rôle capital du conditionnement préalable dans tous les problèmes de perception. Il en est de la musique comme de la langue : il faut l'apprendre pour la comprendre.

Le problème du rythme dans les musiques orientales a fait l'objet d'une réunion particulière qui est loin d'avoir épuisé le sujet. Avec les moyens électroacoustiques du laboratoire nous pouvons aisément mesurer les rythmes. Mais comment sont-ils perçus ? Là encore le conditionnement et l'entraînement interviennent. Dans un exemple de polyrythmie du Viet-Nam, plusieurs formules rythmiques se déroulent simultanément et certaines d'entre elles peuvent durer jusqu'à 30 secondes. Un occidental est complètement perdu. Schématiquement on peut dire que le rythme procède en Orient par additions de petites durées, alors qu'en Occident il s'agit de divisions binaires ou ternaires d'unités régulières.

ETUDE DES CHANTS D'OISEAUX

Nous passons à un sujet tout différent, mais qui a tout de même un lien avec ce qui précède : c'est le problème de la perception du temps. Avec le sonograph, il est facile de visualiser le chant des oiseaux, par exemple celui d'un pinson (Fig. 5).

On constate que le chant est généralement aigu (entre 2000 et 7000 Hz). Les signaux sont le plus souvent sinusoïdaux (sans

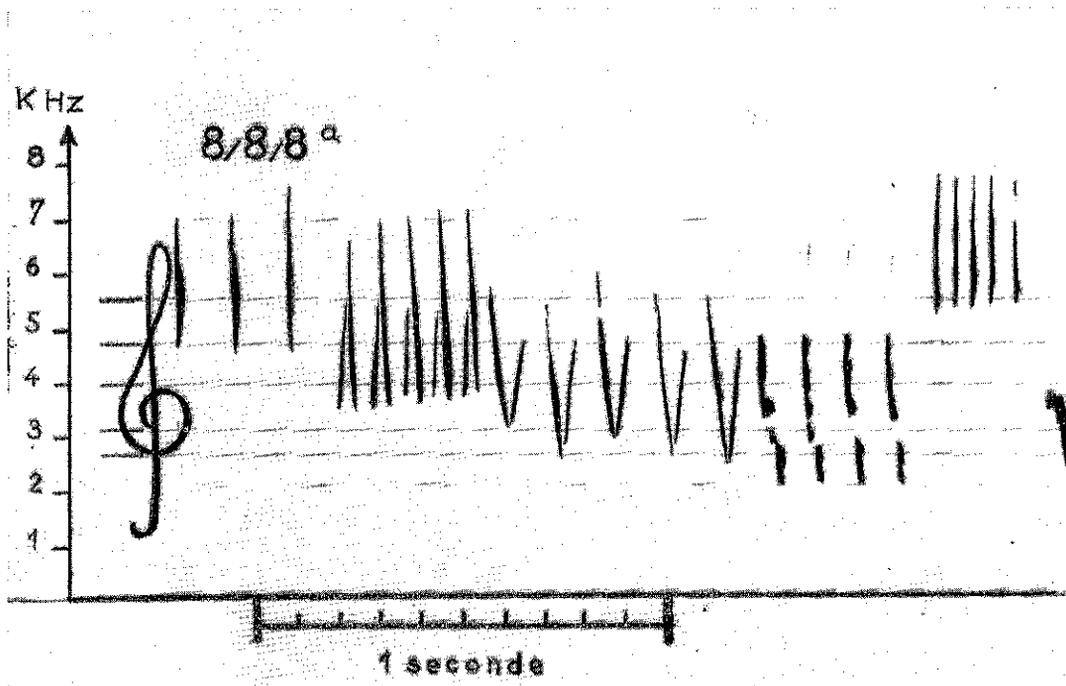


Fig. 5. — ANALYSE AU SONAGRAPHE D'UN CHANT DE PINSON

L'oiseau émet une succession de glissandos ascendants et descendants, de pente très raide. En traçant une portée musicale d'un type spécial, la transcription musicale du chant est instantanée, et on peut en réaliser la synthèse à l'aide d'un jazzoflûte, moyennant les transcriptions de temps et de fréquence appropriées.

harmonique). Mais les variations de fréquence sont extrêmement rapides, au point qu'une succession de glissandos sinusoidaux est perçue comme une succession de clics par nos oreilles. (Sur ce point, il serait intéressant de connaître la constante de temps de l'oreille d'un pinson !). En démultipliant un chant d'oiseau au magnétophone, c'est-à-dire en écoutant en 19 cm un chant enregistré en 38 cm, on commence à entendre plus de choses, puis en passant en 9,5 on est presque capable de suivre le dessin du sonagramme. En raison des propriétés fort variables de nos oreilles respectives, nous entendons sans doute bien différemment ces chants.

L'étude du chant des oiseaux nous a conduits vers d'autres pro-

blèmes, par exemple celui de l'émergence d'un signal faible sur le bruit de fond.

EMERGENCE DE SIGNAUX FAIBLES SUR LE BRUIT DE FOND

La figure 6 montre un exemple éloquent. Il s'agit de l'enregistrement de l'environnement sonore qui était le nôtre dans l'ancien laboratoire d'acoustique, toutes fenêtres ouvertes.

La zone noire qui couvre le bas du sonagramme traduit le bruit de la circulation intense sur le quai Saint-Bernard ; ce bruit

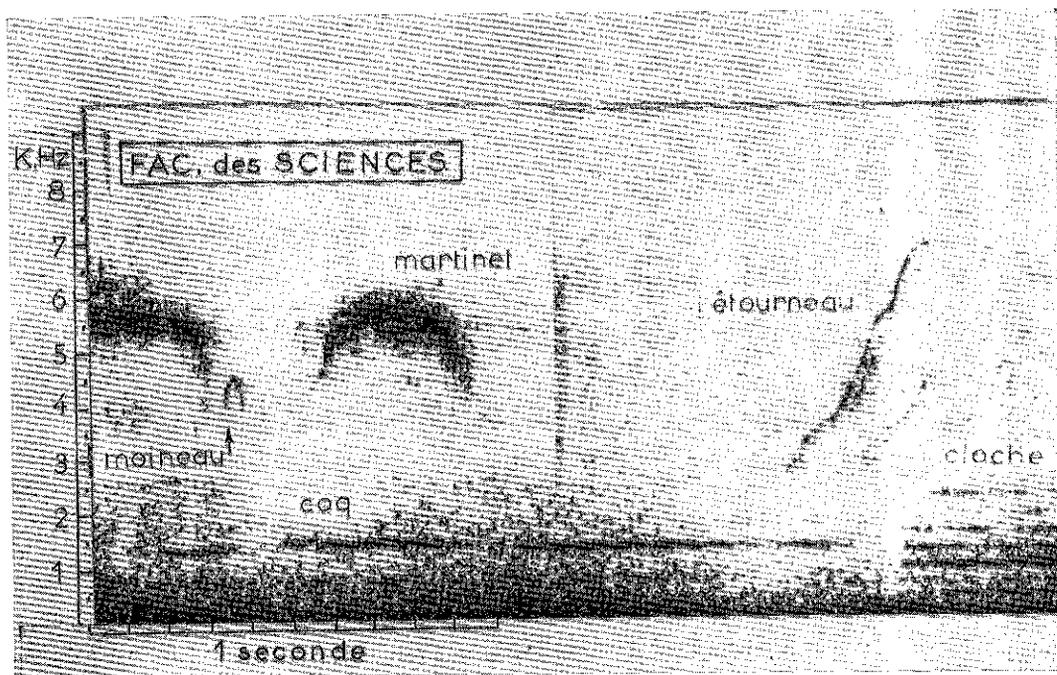


Fig. 6. — LA PERCEPTION DES BRUITS FAIBLES

Un « cuic » de moineau, un sifflement d'étourneau sont parfaitement perçus dans un bruit de fond intense (ici 80 dB) à condition que leur forme acoustique se détache nettement de celle du bruit de fond, comme c'est le cas ici. La représentation sonographique comportant les 3 dimensions du son : fréquence, intensité, temps rend bien compte de la réalité perceptive.

dépasse 80 dB. Mais on voit (et on entendait nettement) les cris des martinets, un son de cloche, un « cuic » de moineau et même un chant de coq venant de la terrasse des laboratoires de physiologie. Ces signaux ne faisaient pas dévier l'aiguille du décibelmètre et pourtant leur forme acoustique émerge parfaitement du fruit de fond inorganisé, et d'autant mieux qu'ils sont dans des zones de fréquence plus élevées.

En musique le problème de l'émergence d'un signal sur le bruit de fond est connu et exploité depuis longtemps. Pour s'en convaincre, il n'est que de considérer le cas du piccolo dans le tutti d'orchestre et celui du galoubet des fêtes provençales. De ces études, nous avons tiré beaucoup d'enseignements. Ainsi, nous savons à présent qu'un signal musical, comportant un grand nombre de composantes, est bien plus difficile à détruire que les formes acoustiques de la parole. Autre point : dans une ambiance bruyante on perçoit encore la mélodie de la parole (intonation) alors qu'on ne comprend plus le sens. On vérifie que l'étude du problème du bruit est un point difficile, lié à celui de la reconnaissance des formes acoustiques. Reconnaître un bruit, c'est extraire une forme d'un fond donné ; on le fait d'autant mieux que l'on est prévenu du type de bruit qui doit se produire et que l'on est prévenu du moment de son apparition. Ces deux paramètres permettent d'expliquer les grandes variations individuelles en ce qui concerne la gêne des bruits faibles. Tel bruit de pas dans l'escalier, porteur d'un message agréable lorsqu'il s'agit d'un ami attendu, peut au contraire devenir indésirable si l'auteur en est le voisin de palier que l'on ne porte pas dans son cœur...

Le deuxième paramètre, la prévisibilité, est bien connu. Par exemple un choc brutal émis dans notre dos nous fait sursauter. Mais si nous voyons le geste qui va le produire nous « encaissons » très bien le phénomène. Ce problème a été traité au cours de la 49^e réunion concernant l'oreille moyenne.

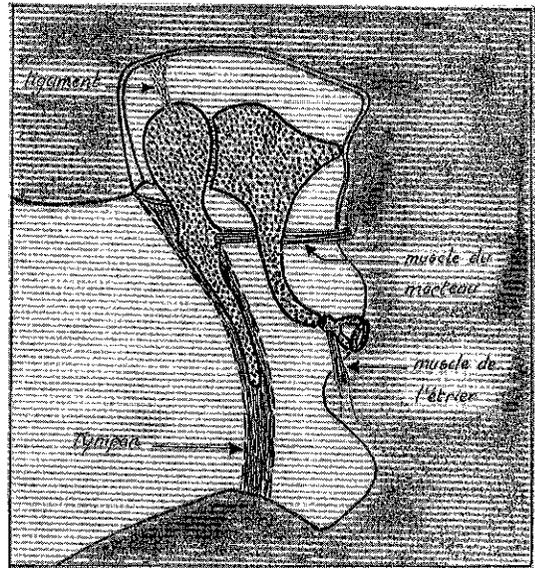
MECANIQUE ET ACOUSTIQUE DE L'OREILLE MOYENNE

L'anatomie de l'oreille est bien connue, la physiologie et l'électrophysiologie de l'oreille interne sont en plein développement,

mais on néglige souvent, et à tort, l'oreille moyenne proprement dite, et en particulier son fonctionnement mécanique. C'est un adaptateur d'impédance entre le tympan et l'oreille interne, microphone d'un type particulier. Cette fonction est assurée par le système osselets + muscles. Or si les osselets sont bien décrits on n'a que des données incertaines sur les muscles qui développent des forces dont il faudrait pourtant préciser le point d'application, la direction et la grandeur... Il n'est pas inutile à ce propos de donner une figure du 19e siècle extraite de GELLÉ « L'audition et ses organes. Paris 1899 » (Fig. 7).

Fig. 7. — COUPE DE L'OREILLE MOYENNE D'APRES GELLÉ

Les muscles sont les organes actifs de l'oreille moyenne ; leur fonctionnement permet de comprendre les problèmes d'adaptation de l'oreille en intensité et en temps.



L'action des muscles de l'oreille assure une protection de l'organe aux bruits intenses, l'adaptation ainsi réalisée est en partie réflexe et en partie volontaire ; elle est variable d'un individu à l'autre, et pour un même individu, selon l'état de fatigue ; enfin elle décroît avec l'âge.

SCHEMA DE LA FONCTION AUDITIVE

L'étude de l'oreille conduit tout naturellement à celle de la

fonction auditive dont elle n'est qu'un maillon. Cette question a déjà été traitée par M. LEIPP dans cette même revue (Janv.-Fév. 1967 - N° 25) ; aussi nous bornerons-nous à donner une figure (Fig. 8).

Dans un tel schéma il n'est pas question de décrire la réalité anatomo-physiologique mais d'en faire une simulation, de telle sorte qu'on puisse comprendre le fonctionnement des organes et leur inter-réaction. En fait, ce schéma nous permet d'expliquer

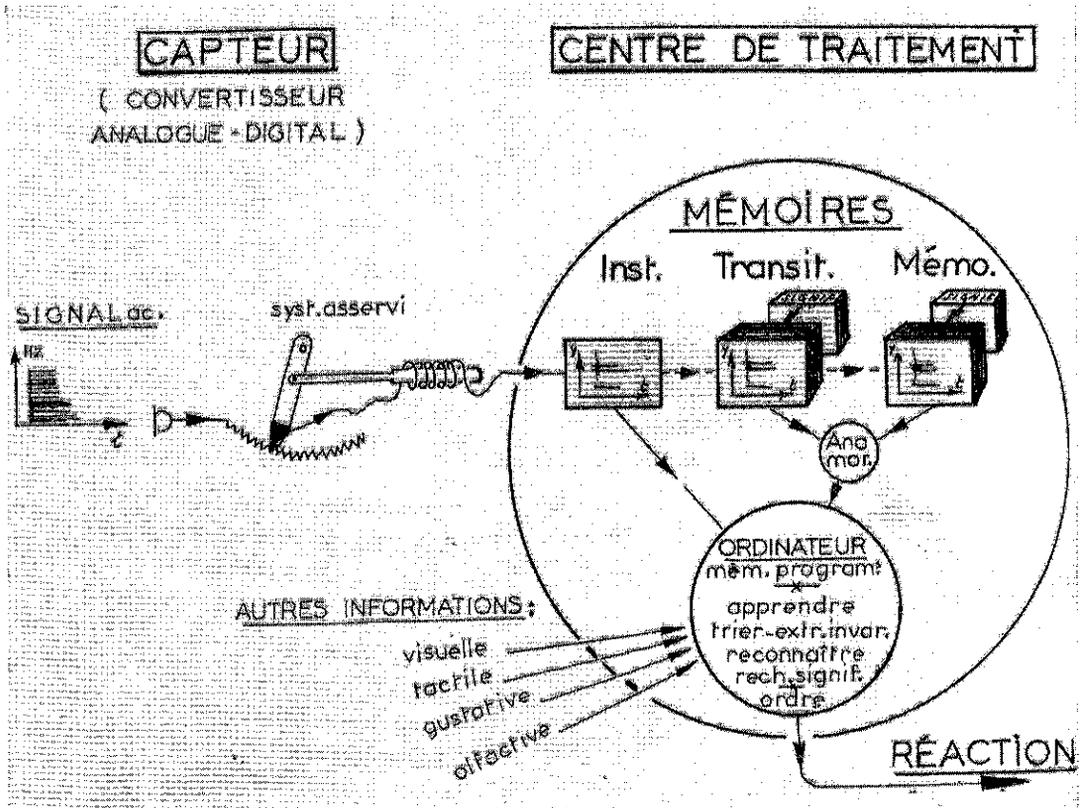


Fig. 8. — SIMULATION DU SYSTEME AUDITIF HUMAIN

Le capteur (oreille) transforme les signaux acoustiques en impulsions électriques codées qui seront traitées par le cerveau. Le schéma permet de saisir le rôle important des mémoires dont l'organisation et le contenu déterminent dans sa plus grande part la réaction du sujet.

la plupart des cas apparemment paradoxaux, divergences de jugements résultant des particularités variables des capteurs, du contenu des mémoires ou des anomalies de fonctionnement du système auditif provenant des « pannes » à divers niveaux. Un tel schéma, très simpliste ici, se complète et se modifie au fur et à mesure de l'évolution de nos idées.

Bien d'autres sujets ont fait l'objet de réunions du G.A.M. La liste exhaustive en est donnée à la fin de cet exposé. Qu'il s'agisse du problème du diapason, de la composition de la musique avec ordinateur, des musiques expérimentales, chaque fois nous nous sommes heurtés, en dernière analyse, à des problèmes de perception, et toutes ces études nous ont fait progresser dans la connaissance du système auditif.

Nous avons gardé, pour terminer, un sujet qui intéresse plus particulièrement les orthophonistes, et qui a fait l'objet de six réunions du G.A.M. L'étude de la parole humaine.

LA GUIMBARDE. L'APPAREIL PHONATOIRE

Tout a commencé avec la guimbarde que M. LEIPP a étudiée dès 1962. La connaissance d'un virtuose de l'instrument, John WRIGHT, fut l'occasion de susciter une réunion centrée sur cet instrument.

La guimbarde, instrument répandu dans le monde entier, était oubliée en France il y a encore 10 ans. Elle connaît aujourd'hui un renouveau d'intérêt (Fig. 9a).

Le modèle autrichien représenté sur la figure comporte une lame d'acier coudée à une extrémité et soudée à l'autre sur un cadre d'acier en forme de lyre. La partie resserrée du cadre se place entre les dents écartées. La lame vibrante y est ajustée et vibre librement, excitant la cavité buccale. La lame isolée fournit un spectre de raies quasi-harmoniques d'une grande richesse. Lorsqu'on associe la guimbarde à la cavité buccale, certaines composantes sont renforcées. Par exemple, supposons que l'on rétrécisse la cavité buccale peu à peu que la lame vibre. On voit (fig. 9b) que les partiels renforcés sont successivement le 5, 6 puis 7 jusqu'au 15e, pour la guimbarde analysée. Nous

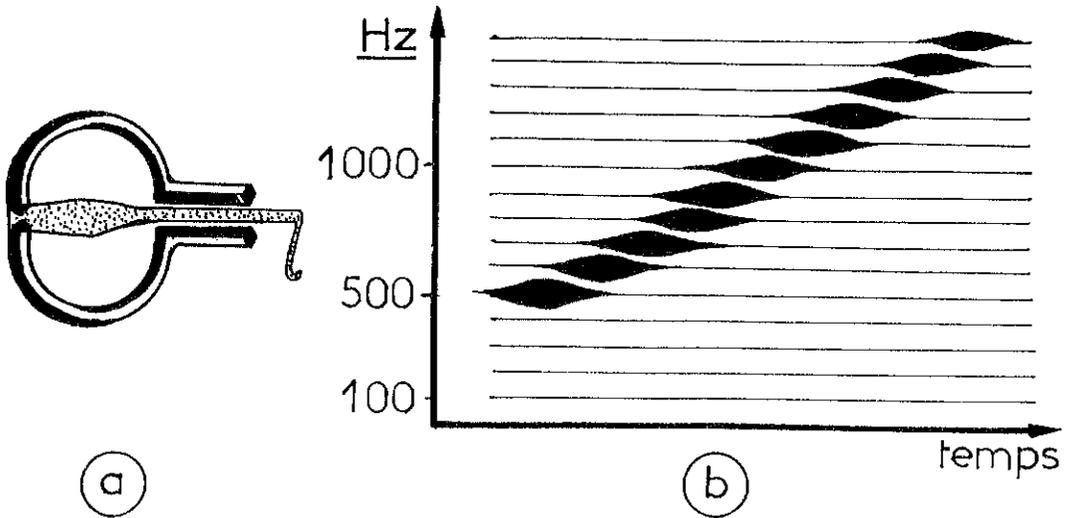


Fig. 9. — LA GUIMBARDE

9a — Figure d'une guimbarde métallique autrichienne. La partie coudée de la lame se trouve perpendiculaire au plan du dessin.

9b — Sur un spectre de raies fixe, de fréquence 100 Hz, on produit un formant ascendant de l'harmonique 5 à l'harmonique 15.

avons réalisé un formant ascendant. On entend donc « quelque chose qui monte » alors que le spectre de raies est de hauteur fixe. Dans le jeu d'un bon musicien, plusieurs formants évoluent simultanément et indépendamment les uns des autres car la cavité buccale est un résonateur multiple (Fig. 10 p. 221).

Mais on peut aussi parler avec la guimbarde. Cette expérience est à la portée de tous. Il suffit d'exécuter les mouvements articulatoires en « voix muette », sans émettre de son vocalique ni de chuchotement, en faisant vibrer simultanément la lame dans l'interstice laissé entre les incisives inférieures et supérieures. On entend alors une voix monotone, mais assez intelligible, qui semble provenir d'outre-tombe. En fait, on excite l'appareil phonatoire avec une « corde vocale » synthétique : la lame de la guimbarde.

L'étude de la guimbarde nous a conduits naturellement à celle

de l'appareil phonatoire humain qui a fait l'objet d'une réunion particulière. On voit fig. 11 une schématisation de l'appareil vocal. Rappelons que la fréquence d'un résonateur est proportionnelle au volume et inversement proportionnelle à la section de l'ajutage. On peut donc obtenir les mêmes fréquences de résonance avec des résonateurs de dimensions très différentes. Ceci permet de comprendre que des oiseaux comme le perroquet ou le mainatte puissent simuler la parole humaine avec des résonateurs de tailles beaucoup plus petites : il suffit que les ouvertures soient petites aussi. Une autre façon d'aborder l'étude de l'appareil phonatoire est la simulation mécanique.

LA MACHINE DE KEMPELEN

Dans la deuxième moitié du 18^e siècle, le Baron VON KEMPELEN

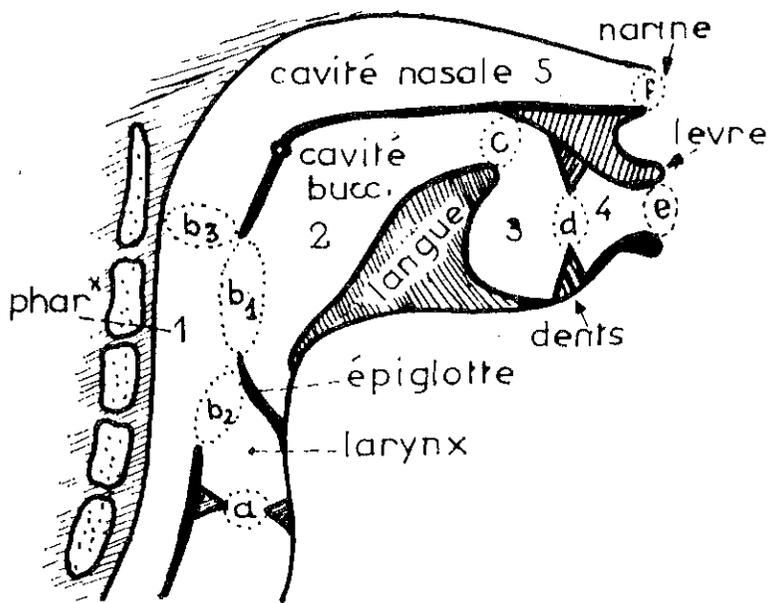


Fig. 11. — COUPE SCHEMATIQUE DE L'APPAREIL PHONATOIRE HUMAIN
L'appareil phonatoire humain est un « instrument de musique » fort complexe, comportant un grand nombre de résonateurs couplés dont on peut faire varier simultanément volumes et ouvertures.

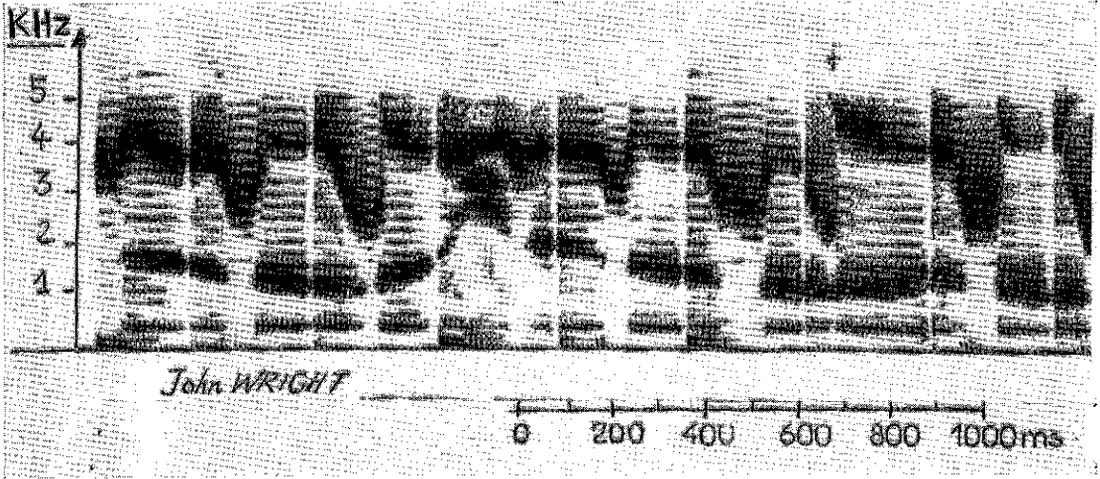


Fig. 10. — SONAGRAMME DE MUSIQUE JOUÉE A LA GUIMBARDE

Le musicien maîtrise simultanément 3 formants principaux : le plus grave joue le rôle de bourdon ; le 2e produit la mélodie ; le 3e, plus compliqué, apporte des variations de timbre.

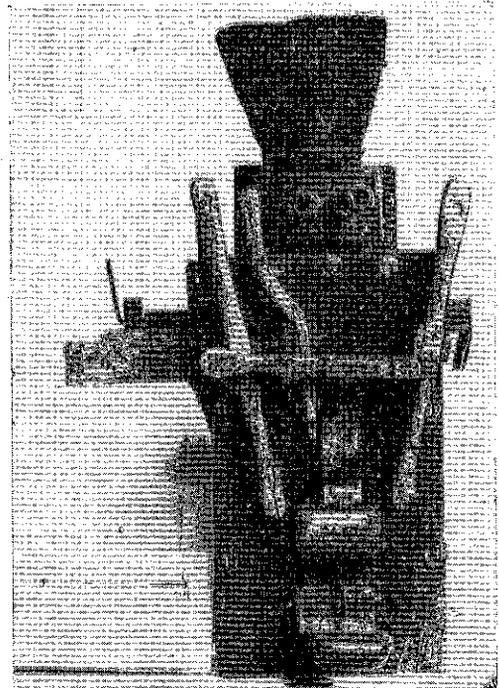


Fig. 12. — LA MACHINE DE KEMPELEN AU MUSEE DE MUNICH

On voit le pavillon buccal, les trous des « narines » et les différents leviers de commande. Le soufflet fournissant l'air comprimé n'est pas représenté sur cette figure.

parcourait l'Europe avec sa machine parlante dont les contemporains ont vanté la qualité. Pour avoir une idée de la parole ainsi produite, J.S. LIÉNARD a reconstitué la machine, décrite soigneusement par KEMPELEN lui-même. Ceci a fait l'objet d'une intéressante réunion.

L'instrument est ingénieux et relativement simple (Fig. 12). L'air fourni par un soufflet (poumons) excite une anche battante (cordes vocales) et débouche dans une cavité terminée par une sorte de pavillon malléable. Deux conduits simulent les narines et deux dispositifs particuliers actionnés par des leviers produisent les bruits de sifflement du s et du ch. Un autre levier permet de faire le r. « L'exécutant » presse le soufflet de son coude droit et de la main droite, manipule les leviers, bouche les narines. De la main gauche il obture plus ou moins partiellement le pavillon buccal pour faire les voyelles, les consonnes plosives. Avec un peu d'habileté on peut dire quelques phrases élémentaires mais le système est tout de même limité. En fait, KEMPELEN avait bien compris le rôle important de la suggestion préalable de l'auditeur. Il demandait à une personne de l'assistance de choisir un mot, une phrase ; en reproduisant correctement le rythme et l'intonation il pouvait se contenter d'une prononciation imparfaite : les auditeurs comprenaient de toutes façons.

Nous avons retrouvé ces problèmes lors de nos essais de parole synthétique.

LA SYNTHÈSE DE LA PAROLE A L'ICOPHONE

La Gestalttheorie a étudié et mis en évidence la notion de forme dans la perception visuelle. On sait maintenant combien cette notion est importante aussi pour le système auditif. Comprendre la parole, c'est reconnaître des formes. Celles-ci peuvent être anamorphosées en fréquence (voix d'enfants, voix d'hommes) ou en temps (rythme de la parole), plus ou moins masquées par des bruits de fond variés : nous les reconnaissons toujours. Lorsqu'on est prévenu de ce qui va être dit, il suffit même de suggérer une toute petite partie de la forme d'un mot pour que nous le reconnaissons !..

Les formes sémantiques de la parole sont clairement mises en évidence sur le sonagramme dans l'analyse fréquence-temps. On voit par exemple que l'expression « Mais oui » apparaît nettement, quelle que soit l'intonation ascendante ou descendante (Fig. 13).

Dans le but d'obtenir les formes les plus simples qui soient, nous avons travaillé sur la voix chuchotée qui a pour avantage d'être dépouillée d'intonation et, d'une façon générale, de l'information esthétique du locuteur. La figure 14 montre la même phrase en voix normale et en voix chuchotée (cf. p. 224).

Grâce à la construction d'un synthétiseur, L'ICOPHONE, nous avons pu montrer le bien-fondé de nos idées. L'appareil transforme les formes visuelles en formes sonores, les dessins en son. On peint les formes de la parole avec une encre opaque, sur une bande transparente qui défile au-dessus de 44 cellules photo-électriques (Fig. 15).¹ Les cellules obscurcies déclenchent les générateurs de sons correspondants, étagés régulièrement de 100 à 4400 Hz. Le mélange des sons sinusoïdaux constitue la parole.

1. cf. page 225.

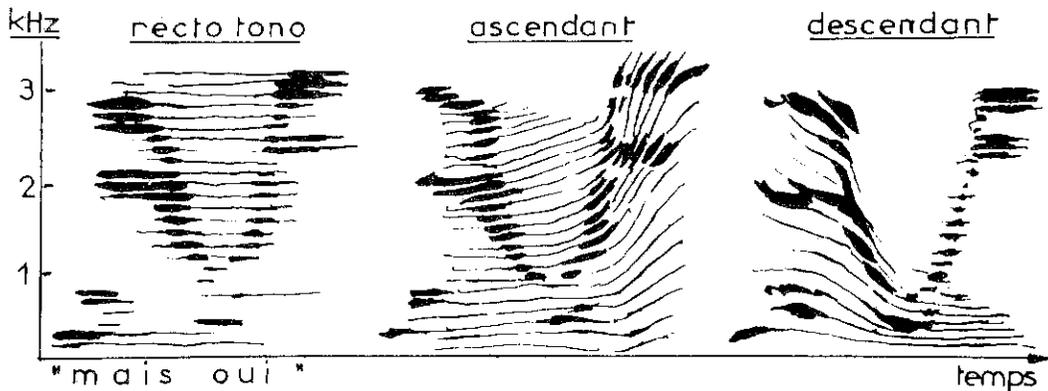


Fig. 13. — VARIATIONS D'INTONATION

La forme sémantique de l'expression « mais oui », est parfaitement reconnaissable quelle que soit l'intonation de la voix.

Pour synthétiser des discours sans analyse préalable, nous avons cherché à découper la parole en petits éléments raccordable qui permettraient de reconstituer les formes d'ensemble des mots et des phrases. Ces petits éléments ne sont pas les phonèmes, qui n'ont pas d'existence acoustique dans le langage réel car l'appareil phonatoire est toujours en mouvement. KEMPELEN avait buté sur ce problème. Avec la machine on ne peut pas lier

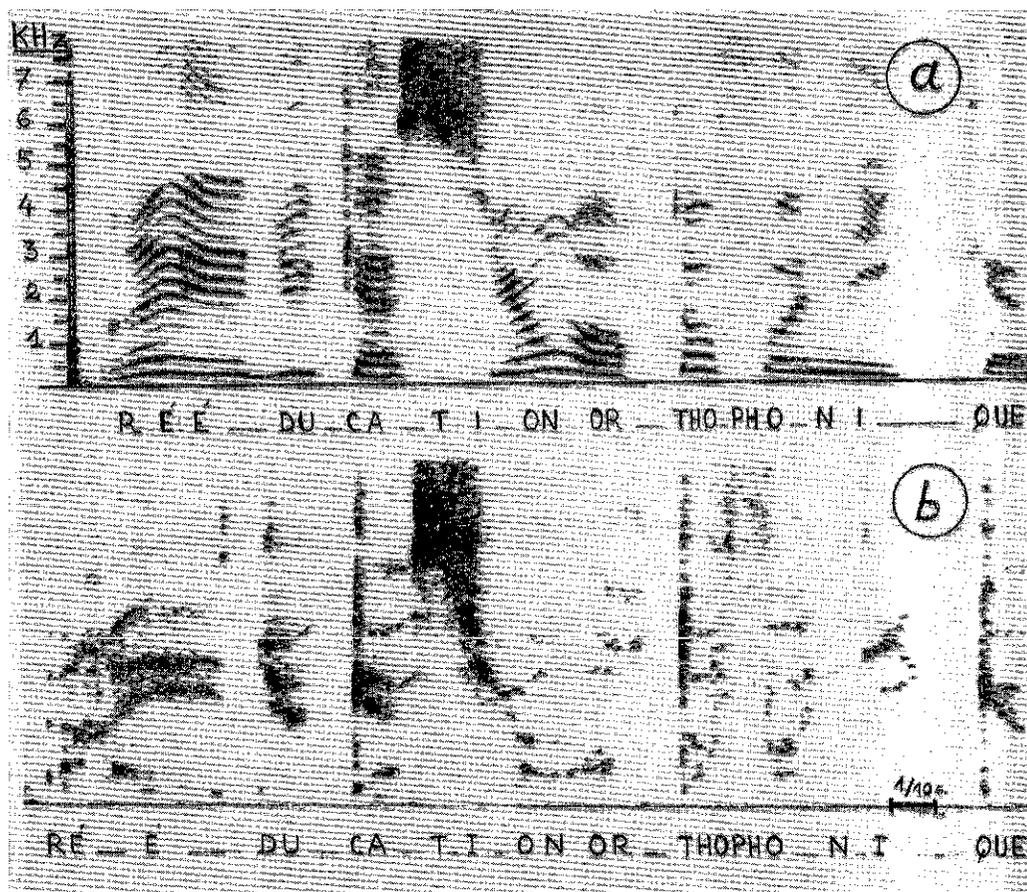


Fig. 14. — MEME PHRASE EN VOIX NORMALE ET EN VOIX CHUCHOTÉE

En voix normale, les variations de timbre et d'intonation peuvent masquer certaines parties des formes sémantiques de la parole ; celles-ci apparaissent avec plus de précision et de finesse en voix chuchotée.

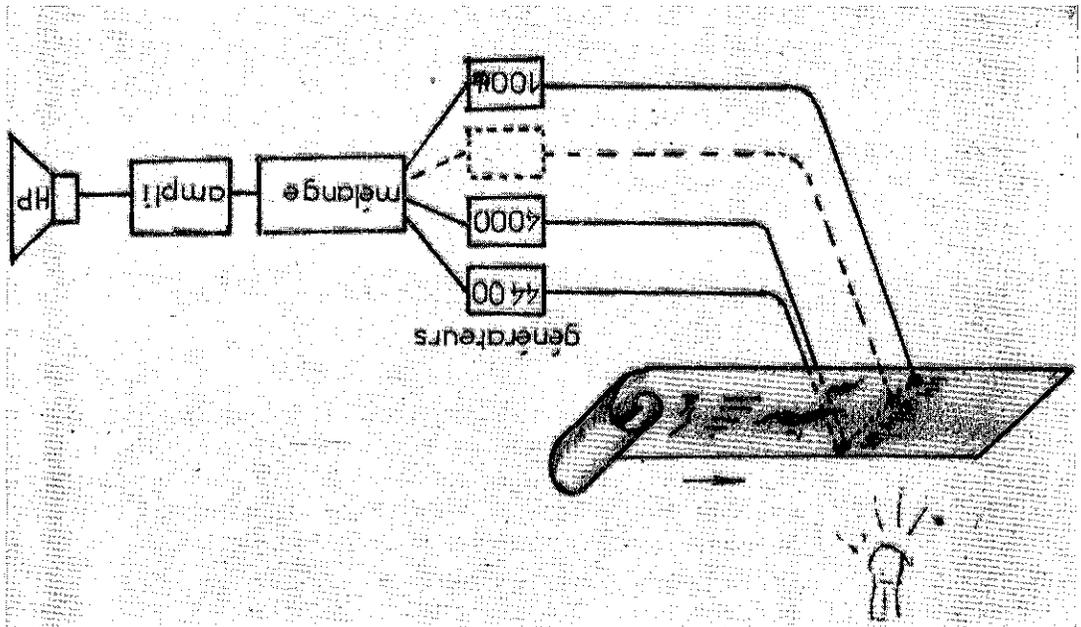


Fig. 15. — SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DE L'ICOPHONE II.

Les cellules photo-électriques placées sous la bande transparente commandent en « tout ou rien » les générateurs sinusoïdaux correspondants. On transforme ainsi les formes visuelles en formes acoustiques.

correctement certains sons. Ainsi, pour dire « SA » on enchaîne le bruit s puis la voyelle A, mais le résultat n'est pas correct. De même que OUI n'est pas la somme de OU + I (Fig. 16),² SA n'est pas la somme de s + A. L'unité de parole est la transition entre 2 phonèmes, image du mouvement articulaire élémentaire. Sur la base de cette idée nous avons pu effectivement réaliser une parole synthétique fluide et intelligible. A partir de 30 phonèmes associés 2 à 2 il faudrait 900 phonatomes ; en pratique 400 suffisent, d'autant que plusieurs sont réversibles. Pour synthétiser la phrase bien connue de nos visiteurs « le petit chat fait sa toilette » il suffit d'associer les phonatomes LE + EP + PE + ET + TI + ICH + CHA et ainsi de suite, les éléments se raccordent automatiquement (Fig. 17).²

2. cf. page 227.

Depuis, les dessins des phonatomes ont été convertis en suites de nombres et mis en mémoire de l'ordinateur auquel l'icophone IV spécialement conçu a été raccordé. On peut ainsi, par simple frappe au pupitre de la machine, synthétiser de la parole pratiquement en temps réel. Lors d'une récente réunion du G.A.M., en janvier 1971, nous avons fait le point de nos recherches en ce domaine.

CONCLUSIONS

Ainsi, des problèmes électro-acoustiques au chant des oiseaux, en passant par la musique orientale et la guimbarde, l'itinéraire du G.A.M. nous a conduits à l'étude de la parole. Depuis la 50e, nos réunions se poursuivent ; nous avons eu architecture et musique spatiale par F. WINCKEL ; la chaîne d'écoute stéréophonique par J. DEWÈVRE, la reconstitution du clavecin d'Arnaut de Zwolle par M. KAUFMAN et l'étude du luth en forme de lune, des cliquettes à sapèques du Viet-Nam par TRAN VAN KHÉ. La prochaine réunion consiste dans la présentation d'un orgue électronique, le CANTOR, avec lequel nous allons entreprendre une étude de la perception des sons complexes dans le contexte musical. Le problème de fond est bien celui de la perception.

Les résultats de nos recherches seraient sans doute restés bien maigres si nous n'avions fait l'effort nécessaire pour les communiquer à nos invités du G.A.M. et en discuter avec eux. Mais grâce à cela, nous avons bénéficié de l'expérience de spécialistes d'autres disciplines, qui nous ont fait très souvent d'heureuses suggestions et nous ont encouragés par leur simple présence sympathique à poursuivre nos activités.

M. CASTELLENGO ✓

N. B. : Nos lecteurs trouveront la liste des sujets ayant fait l'objet de réunions du G.A.M. pp. 228 à 230.

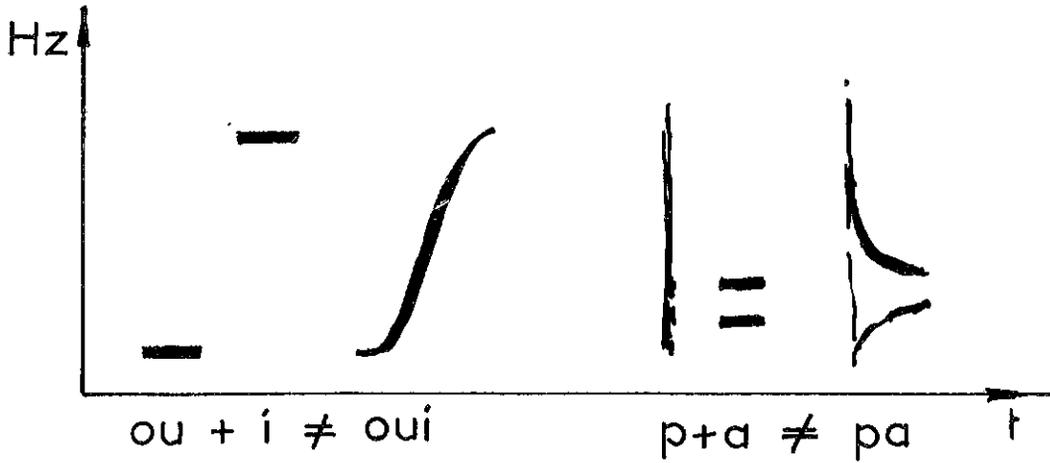


Fig. 16. — PHONEMES ET PHONATOMES

Les éléments significatifs de la parole sont, non pas les phonèmes, mais les formes acoustiques traduisant le passage d'un phonème au suivant. Ces formes, appelées « phonatomes », sont l'image des mouvements articulatoires élémentaires.

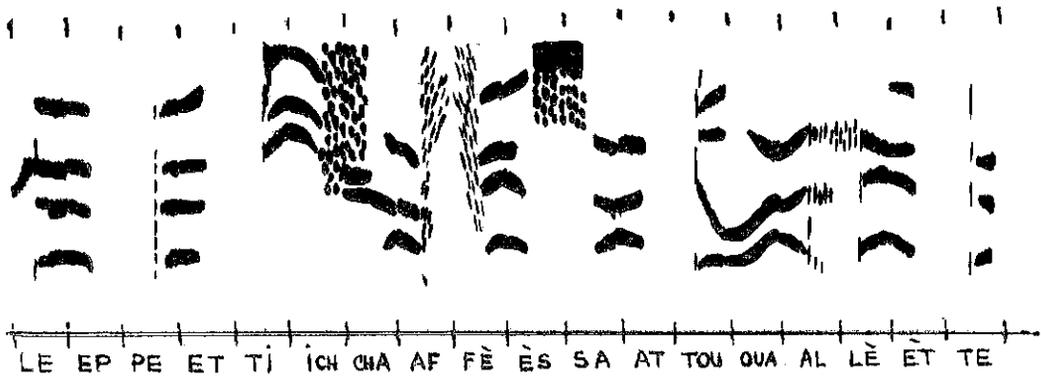


Fig. 17. — SYNTHÈSE A L'ICOPHONE

Icogramme de la phrase « le petit chat fait sa toilette » réalisé à partir de l'association de phonatomes normalisés.

publiés entre décembre 1963 et 1970

Groupe de travail E. LEIPP — Mlle CASTELLENGO — J.-S. LIENARD

1. *Le problème des gammes* par VAN ESBROECK (Université de Gand).
Compte rendu rédigé par E. LEIPP Déc. 1963
2. *La composition de la musique à la machine à calculer* par P. BARBAUD.
Compte rendu par E. LEIPP et M. CASTELLENGO Février 1964
3. *Le problème du diapason* par E. LEIPP Mars 1964
4. *Appareillages et méthodes en acoustique musicale* par E. LEIPP Avril 1964
5. *Théorie informationnelle de la musique* par A. MOLES.
Compte rendu par E. LEIPP et M. CASTELLENGO Mai 1964
6. *La musique des oiseaux* par Mlle CASTELLENGO Juillet 1964
7. *Confidences d'un ancien preneur de son* par M. PHILIPPOT.
Compte rendu par J.-S. LIENARD Déc. 1965
8. *La notation des musiques extraeuropéennes à l'aide du sonographe*
par Mlle CASTELLENGO Janvier 1965
9. *Les musiques expérimentales* par A. MOLES.
Compte rendu par J.-S. LIENARD Janvier 1965
10. *Les champs de liberté des instruments de musique* par E. LEIPP Février 1965
11. *Influence de l'acoustique des salles sur l'évolution du style musical*
par F. WINCKEL (Univ. Techn. Berlin).
Compte rendu par E. LEIPP et M. CASTELLENGO Mars 1965
12. *La vièle, le monocorde vietnamien, la cithare à 16 cordes.*
E. LEIPP, TRAN VAN KHE Avril 1965
13. *L'acoustique des théâtres antiques* par F. CANAC.
Compte rendu par J.-S. LIENARD Juin 1965
14. *La situation de l'acoustique musicale aux U.S.A.* par J.-C. RISSET.
Compte rendu par E. LEIPP et M. CASTELLENGO Sept. 1965
15. *L'orgue hydraulique antique* par M. PERROT.
Compte rendu par M. CASTELLENGO Nov. 1965
16. *Le violon* par E. LEIPP Déc. 1965
17. *Les instruments à percussion* par M. TOURTE.
Compte rendu par J.-S. LIENARD Janvier 1966
18. *Les cloches* par Mlle CASTELLENGO Mars 1966
19. *Expériences de corrélation entre musique et parole.*
par M. CHAILLEY Avril 1966
20. *Le problème du bruit* par E. LEIPP Mai 1966
21. *La vina et la musique de l'Inde du Sud*
par NAGESWARA RAO, TRAN VAN KHE, LEIPP Juin 1966

publiés entre décembre 1963 et 1970

22. *Information sémantique et parole : essai d'une gestaltthéorie*
par E. LEIPP
Le dictionnaire des éléments phonétiques et ses applications à la Lin-
guistique par J.S. LIENARD. Juin 1966
23. *Le Galouget* par Mlle CASTELLENGO Nov. 1966
24. *Le sarod* par E. LEIPP, TRAN VAN KHE Déc. 1966
25. *La guimbarde* par E. LEIPP Janvier 1967
26. *Les haut-parleurs* par J.-S. LIENARD Février 1967
27. *Le pouvoir directionnel des instruments de musique*
Jürgen MEYER (du Phys kalisches Bundesanstalt Braunschweig). Traduit
et présenté par E. LEIPP Mars 1967
28. *La fabrication des disques* par P. GILOTAUX. C. R. par J.-S. LIENARD .. Avril 1967
29. *Réflexions sur les problèmes du rythme dans les musiques orientales*
par E. LEIPP et TRAN VAN KHE Mai 1967
30. *Le piano*. Colloque de 4 conférences sur le thème du piano, organisé
par le G. A. M. Juin 1967
— LEIPP : le piano, les mesures physiques et leur signification.
— M. CASTELLENGO : Peut-on apprécier objectivement le style des pia-
nistes ?
— J.-S. LIENARD : Mécanique et toucher du piano.
— Dr DORCEUILLE : Essai d'analyse anatomo-physiologique de la tech-
nique de clavier.
31. *L'art vocal en Inde* Octob. 1967
— Miss PURI : Les dix thasas de la musique de l'Inde du Nord et leur
correspondance avec les différentes heures de la journée.
— TRAN VAN KHE : Les trois styles de chant en Inde — le dhrupad,
le khayal et le Tumri.
— M. CASTELLENGO : Étude acoustique d'un exemple d'art vocal :
le khayal.
32. *Mécanique et acoustique de l'appareil phonatoire*. E. LEIPP Déc. 1967
33. *Tour d'horizon sur les musiques expérimentales*.
CHIARRUCCI-REIBEL ; MOLES ; LEIPP Janvier 1968
34. *La machine parlante de Kempelen*. J.-S. LIENARD Mars 1968
35. *La flûte traversière*. M. CASTELLENGO Avril 1968
36. *Le diapason*. E. LEIPP Mai 1968
37. *L'intelligibilité de la parole*. E. LEIPP Nov. 1968
38. *La régale*. E. LEIPP. Collab. ISOIR Déc. 1968
39. *La musique du théâtre japonais*. M. CASTELLENGO — A. TAMBA. Janvier 1969

publiés entre décembre 1963 et 1970

40. *Le nouveau diapason électronique à l'Opéra.*
E. LEIPP ; M. CASTELLENGO ; M. AGOSTINI Février 1969
41. *Le cor d'orchestre.* E. LEIPP, Collab. M. TIEVET Mai 1969
42. *Les paramètres sensibles d'un tuyau d'orgue à bouche.* M. CASTELLENGO. Juin 1969
43. *Le problème de la reconnaissance automatique de la parole.*
T. TARNOCZY ; E. LEIPP Sept. 1969
44. *Quelques instruments traditionnels de Chine*
Ocarina, flûtes, orgue à bouche, pipa.
TRAN VAN KHE ; LEIPP avec la collab. de CHENG HUEI CHENG Nov. 1969
45. *L'ordinateur comme instrument de musique.* J.-C. RISSET Février 1970
46. *Orthophonie.* Mme BOREL-MAISONNY Février 1970
47. *Réunion sur le diapason, en collaboration avec le Comité National de la*
Musique (Mme LYON - AGOSTINI) Mars 1970
Tour d'horizon sur le diapason (E. LEIPP).
48. *La disposition des musiciens dans l'orchestre.* J. MEYER Mai 1970
49. *Réflexions sur la mécanique et l'acoustique de l'oreille moyenne.*
E. LEIPP Juin 1970

Librairie L. PEREY

4 ter, rue du Cherche-Midi, PARIS (6^e). Tél. 548-11-43

Matériel Educatif — Papeterie — Fournitures scolaires

- Guide — Langue
- Test de langage : Images Thiberge.
- Test d'orthographe : matériel photographique de Mme S. Borel-Maisonny.
- Feuilles de notation de test.

Ouvrages de Mme BOREL-MAISONNY, Mme A. GIROLAMI-BOULINIER,
Mlle de SACY et Mlle BAUH.

Psychologie — Education motrice — Pédagogie