

## AUDIOMETRIE OBJECTIVE: RESULTATS DES CONTRE-REACTIONS PHONATION-AUDITION

D<sup>r</sup> Alfred TOMATIS (Paris) (\*)

### INTRODUCTION

Les relations qui rendent solidaires l'audition et la phonation sont si imbriquées que cette dernière ne saurait survivre sans l'existence de l'audition, si l'on n'avait recours à l'artifice qu'est la rééducation.

Certes, de prime abord, cela semble une évidence. Toutefois, dès que l'on s'éloigne du cas-type du sourd-muet, les éléments de cette association apparaissent moins probants et exigent une analyse plus détaillée.

Au cours de cet exposé, nous verrons que ces relations sont si étroitement liées dans le sens phonation-audition qu'elles réalisent un véritable circuit, et toute rupture, toute déchirure, toute anomalie, si minime soient-elles, rencontrées dans le circuit, sont rapidement décelables.

— Soit parce qu'elles entraînent une perturbation dans le *rythme*, c'est-à-dire une gêne dans la coulée normale du circuit ;

— Soit parce qu'elles laissent apparaître une modification dans le *timbre*, c'est-à-dire dans la manière dont s'effectue cette coulée.

### LES TROUBLES DU RYTHME. — OREILLE DIRECTRICE

Dans un travail antérieur, nous avons mis en évidence l'existence d'une prédominance auriculaire dans la « visée » du son. En effet, il existe une *oreille directrice*, de même qu'il existe un œil directeur chez chaque individu.

Cette conclusion logique s'est avérée facile à vérifier, et c'est de l'étude des troubles de la phonation chez les professionnels de la voix qu'est partie cette suggestion, lorsque nous nous sommes mis à rechercher les caractéristiques de l'*oreille musicale*.

Cette oreille directrice siège toujours du côté de l'œil directeur soit, en général, à droite chez le droitier, à gauche chez le gaucher.

(\*) 78, avenue Raymond-Poincaré, Paris (16<sup>e</sup>).

Sa mise en évidence peut s'obtenir aisément à l'aide d'un appareil facile à réaliser, composé d'un microphone, d'un amplificateur et d'un casque d'écouteurs. Le sujet chante devant le microphone et s'écoute dans le casque. On peut, à loisir, supprimer le contrôle de l'une ou l'autre oreille grâce à un interrupteur mettant hors circuit un des deux écouteurs, celui qui demeure en fonction restant en parallèle avec une résistance de même impédance que l'écouteur éliminé.

Nous constatons alors que :

— si le sujet peut se contrôler avec les deux écouteurs, il chante normalement ;

— si l'on supprime l'oreille gauche (l'oreille droite ayant été identifiée oreille directrice), on ne constate pratiquement aucun changement dans l'émission ;

— mais si le sujet voit son contrôle se limiter à son oreille gauche, on observe une modification immédiate du rythme dans le sens d'un ralentissement très important, en même temps que la voix change de timbre, devient plate, blanche et perd de sa justesse.

On obtient un résultat expérimental de même ordre si l'on perturbe l'audition directrice non plus à l'aide du petit montage électronique décrit plus haut, mais simplement en provoquant, pendant quelques minutes, un éblouissement par bruit blanc. La fatigue auditive, portant uniquement sur l'oreille directrice, permet à l'oreille opposée un gain relatif, non permanent, qui laisse apparaître les mêmes troubles expérimentaux.

La modification du rythme peut être considérable, puisqu'il nous est arrivé d'obtenir des ralentissements dépassant, en durée, le double de la durée du rythme mélodique. Ce phénomène est absolument inconscient et le sujet prévenu doit faire un effort très important pour rattraper ce retard et chanter en mesure.

Le manque de justesse est également un phénomène frappant. Le contrôle de la justesse est, en effet, propre à l'oreille directrice et fait appel, pour cette dernière oreille, à des caractéristiques audiométriques que nous avons décrites par ailleurs, et dont nous rappelons succinctement les éléments essentiels.

L'audition des « musiciens » au sens le plus large du mot, c'est-à-dire des personnes ayant la possibilité d'entendre et de reproduire juste, offre une allure identique pour tous, dans le graphique des mesures de seuils auditifs.

Cette courbe prend toujours l'allure de celle de la figure 1, et l'on peut constater une ascension progressive entre 500 c/s et 2.000 c/s, avec une dénivellation qui varie, suivant les cas, de 5 à 20 dB.

Si cette courbe se désarticule, deux phénomènes apparaissent alors :

1° Lorsque le démembrement se fait entre 1.000 c/s et 2.000 c/s, comme c'est indiqué sur la figure 2, le sujet entend juste, mais chante faux. Il peut parfois prendre conscience de sa défaillance et arriver à corriger son défaut de justesse ;

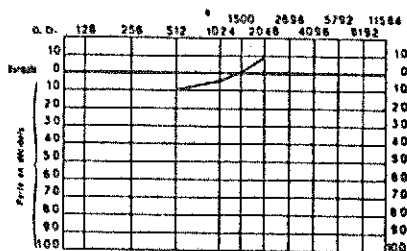


FIG. 1.

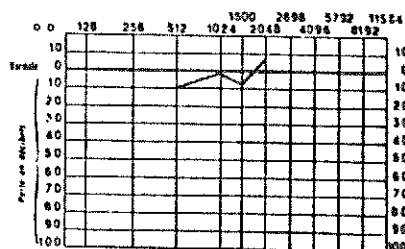


FIG. 2.

2° Lorsque le démembrement se fait entre 500 c/s et 1.000 c/s, l'audition au delà de ces périodes étant intacte, comme indiqué sur la figure 3, le sujet a perdu alors son oreille musicale d'écoute, c'est-à-dire qu'il entend difficilement si un autre sujet détonne. Par contre, il chante encore juste. C'est là un phénomène paradoxal en apparence :

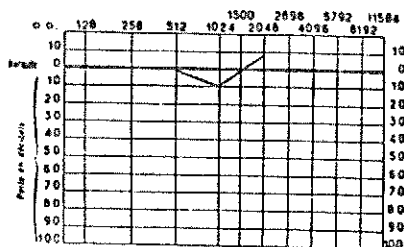


FIG. 3.

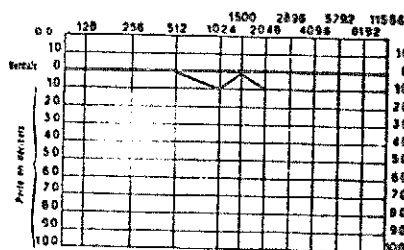


FIG. 4.

3° Enfin, si le démembrement porte sur toute la courbe, et si celle-ci n'offre plus une limite de seuil ascendante et se présente en dents de scie (fig. 4), on ne retrouve chez l'individu examiné aucun caractère de musicalité. Il entendra et émettra faux.

En somme, tout se passe comme s'il existait audiométriquement une oreille musicale globale pouvant se dissocier en *oreille musicale réceptive* et en *oreille musicale expressive*. Mais, fait dominant, ces caractéristiques n'ont de valeur qu'appliquées à l'oreille directrice.

Si l'oreille opposée bénéficiait de tels avantages, l'oreille directrice s'en trouvant démunie, en aucun cas nous ne trouverions chez son possesseur les caractéristiques d'une bonne musicalité.

AUDIOMETRIE OBJECTIVE : RESULTATS  
DES CONTRE-REACTIONS PHONATION-AUDITION

Lorsque l'on considère la voix parlée et non plus la voix chantée, en observant des conditions expérimentales identiques, on obtient des réponses encore plus précises.

Ainsi, lors de la suppression de l'oreille directrice, on note, outre une modification immédiate du timbre, des troubles du rythme plus ou moins accusés et variables suivant l'individu examiné mais spécifiques et toujours dentiques pour le même sujet. On peut alors observer toute la gamme des anomalies du rythme s'étalant du simple bafouillement au bégaiement le plus sévère.

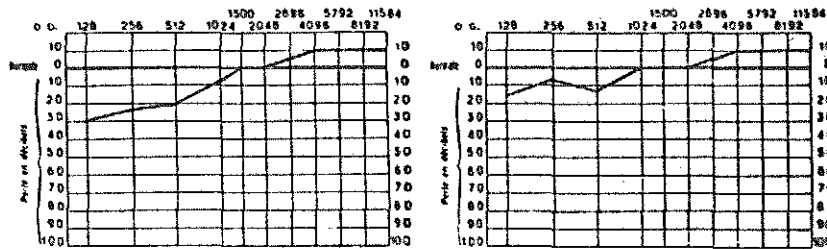


FIG. 5.

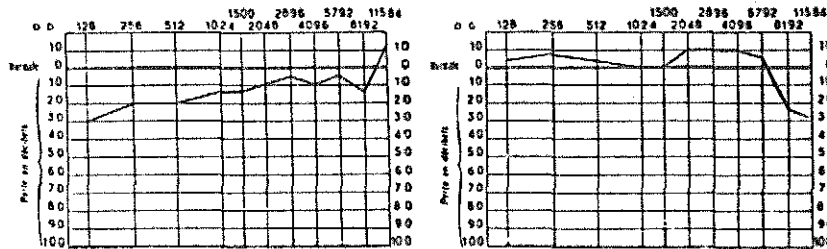


FIG. 6.

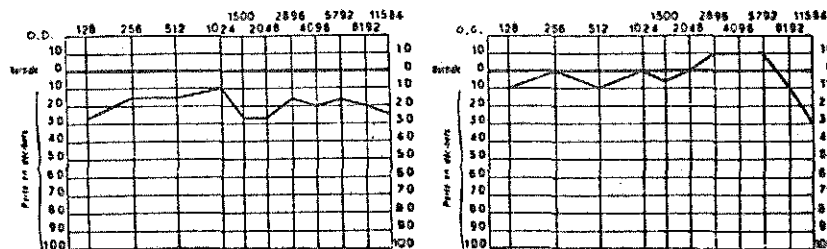


FIG. 7.

C'est là une source de recherches considérable et une hypothèse théorique certaine sur la pathogénie des troubles de la phonation et, en particulier, du bégaiement.

Or, il n'y a qu'un pas à franchir pour confirmer cette hypothèse en examinant l'audition des sujets atteints de troubles de la phonation, notamment les bégues.

C'est ce que nous avons fait systématiquement et à l'heure actuelle, nous possédons quelques centaines d'observations audiométriques. Nous en reproduisons quelques résultats que nous pouvons diviser en trois groupes.

*La majorité, soit au moins 90 %, correspond à des sujets hypoacousiques de l'oreille directrice.*

Comme on peut le constater, il ne s'agit que d'une hypoacousie relative, presque toujours ignorée du sujet lui-même et décelable seulement à l'audiométrie.

Toutefois, cette hypoacousie est suffisante pour qu'expérimentalement, en supprimant l'oreille directrice même d'une façon partielle, on obtienne un résultat identique, tout comme si une hypoacousie, si légère fut-elle, de l'oreille directrice, suffisait à l'éliminer du circuit, le sujet adoptant d'emblée la solution de facilité que lui offre l'oreille opposée, qui bénéficie d'une légère hyperacousie relative, mais qui ne devient pas pour autant une oreille directrice.

Nous avons alors pensé que nous nous trouvions en présence d'une modification profonde du circuit audition-phonation, et que c'était dans cette perturbation que nous risquions d'avoir l'explication de l'ensemble des troubles du rythme.

Nous pouvons facilement mettre en évidence cette anomalie sur deux schémas très simples.

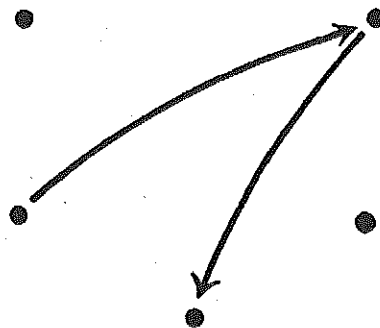


FIG. 8.

Normalement, le circuit audition-phonation utilise l'itinéraire suivant (fig. 8) :

- oreille directrice (que nous supposons être l'oreille droite pour simplifier l'exposé) ;
- centre auditif gauche ;
- centre moteur gauche ;
- musculature de la phonation ;
- et trajet aérien bouche-oreille directrice.

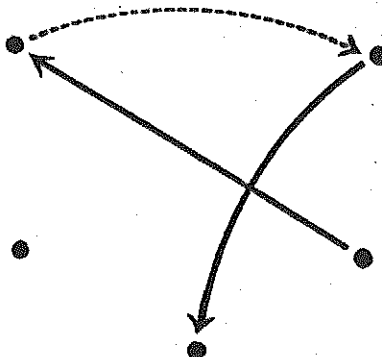


FIG. 9.

Si, pour une raison quelconque, l'oreille directrice est supprimée, l'oreille opposée (oreille gauche dans notre exemple) devient la voie d'entrée de notre nouveau circuit, qui va comprendre les étapes suivantes (fig. 9) :

- oreille gauche ;
- cerveau gauche au niveau du centre auditif droit ;
- cerveau gauche au niveau du centre auditif gauche ;
- centre moteur gauche ;
- musculature de la phonation ;
- et enfin trajet bouche et oreille gauche.

On constate que dans ce deuxième trajet, plus complexe, apparaît immédiatement un élément de retard très important, que nous avons appelé le « transfert transcérébral ».

Nous avons pu mesurer ce transfert transcérébral. Il peut varier entre  $1/5$  et  $1/40^e$  de seconde suivant les individus, mais reste spécifique pour chaque individu.

Lorsque la durée de ce transfert est comprise entre  $1/10$  et  $1/20^e$  de seconde, avec un maximum à  $1/15^e$  de seconde, le sujet est toujours un bègue.

On voit donc que tous les individus ne sont pas nécessairement des bègues si leur audition directrice est compromise. Deux conditions s'avèrent indispensables :

- la perte de l'audition directrice ;
- un transfert transcérébral de l'ordre de  $1/15^{\circ}$  de seconde.

Or,  $1/15^{\circ}$  de seconde est grossièrement la durée moyenne de la syllabe française. Aussi comprend-on mieux d'une part le redoublement de la syllabe pour rattraper ce retard et, d'autre part, le phénomène de répétitions qui échappe au contrôle du cortex gauche.

Cette valeur de  $1/15^{\circ}$  de seconde, quasi spécifique du bégaiement, explique la disparition de l'achoppement lorsqu'on impose un ralentissement de la parole, soit artificiellement en imposant une bradylalie (\*), soit normalement dans toutes les formes de langage qui augmentent le rythme en durée, comme c'est le cas de la phrase chantée.

C'est également dans la constante de cette valeur de  $1/15^{\circ}$  de seconde que l'on peut voir un sujet bégayer en français et non en anglais, par exemple, la valeur moyenne de la syllabe anglaise étant de  $1/20^{\circ}$  de seconde.

Notons, en passant, que le débit d'un récit appris par cœur se fait sans gêne chez le bègue, car la commande de la phonation se fait directement sans nécessité du contrôle auditif.

En dehors de ces limites heureusement fort électives, les retards dus au transfert transcérébral se verront bloqués par des « euh » plus ou moins prolongés, qui se répètent à des intervalles plus ou moins éloignés, ou par une bradylalie plus ou moins importante.

Somme toute, ce retard réalise un véritable « delayed feedback » physiologique.

Cliniquement les troubles aigus de la phonation, rencontrés chez les sujets atteints d'otite aiguë portant sur l'oreille directrice, viennent renforcer cette hypothèse.

Personnellement, nous avons constaté deux bégaiements importants au cours d'otites, troubles qui devaient disparaître à mesure que l'oreille directrice reprenait ses fonctions.

On conçoit, en passant, le danger d'une perte auditive sur l'oreille directrice, qu'elle soit imputable à des soins insuffisants, ou qu'elle soit consécutive à des actes traumatisants comme peuvent l'être les paracentèses.

L'élément le plus important, sinon la preuve, qui nous a fait pencher en faveur de cette hypothèse est la disparition quasi immédiate de tous les troubles phonatoires dès la remise en route du circuit normal. Nous nous en servons régulièrement avec succès dans le traitement du bégaiement.

(\*) Ralentissement de la parole.

AUDIOMETRIE OBJECTIVE : RESULTATS  
DES CONTRE-REACTIONS PHONATION-AUDITION

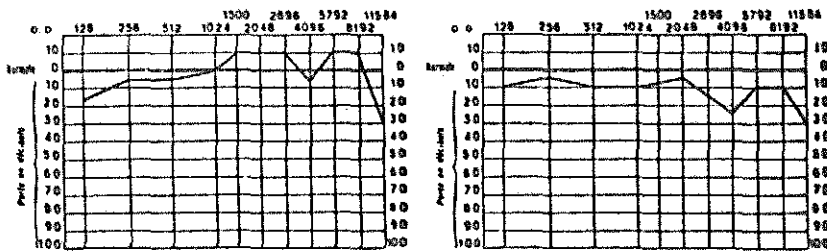


FIG. 10.

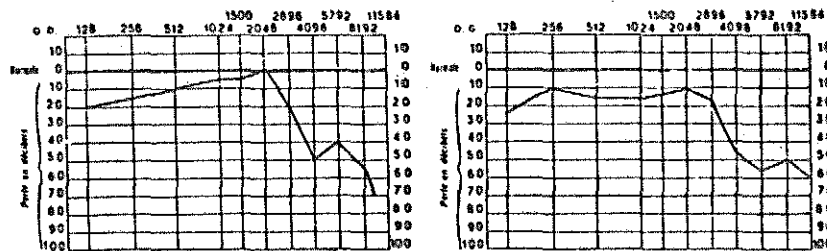


FIG. 11.

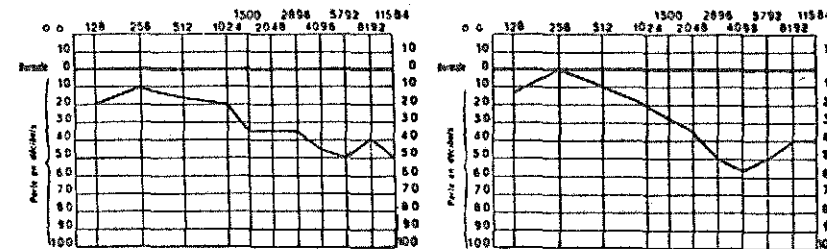


FIG. 12.

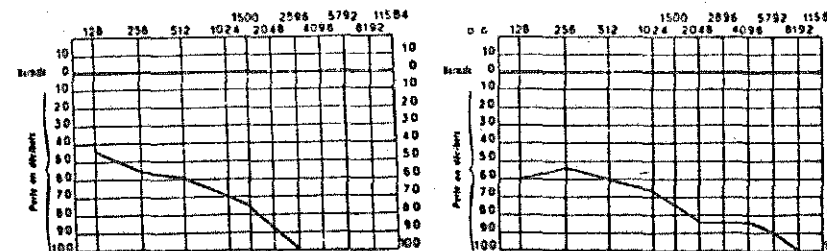


FIG. 13.

A côté de ces cas liés à une hypoacousie relative et représentant 90 % des cas, il en existe un certain nombre que l'audiométrie simple ne permet pas de déceler, mais qui ont un gros trouble de sélectivité auditive. Nous aurons à y revenir plus loin.

Enfin, un troisième groupe réunit les sujets dont la dextralité n'est pas évidente, comme chez les bidextres. L'oreille directrice est alors moins définie.

### LES TROUBLES DU TIMBRE

#### a) *Surdité professionnelle des chanteurs.*

C'est encore aux professionnels de la voix, et notamment aux chanteurs, que nous devons d'avoir songé à la possibilité d'un auto-traumatisme sonore, après avoir analysé quantitativement les voix de tous les chanteurs examinés.

L'importance de l'énergie sonore qu'ils peuvent déployer n'a pas manqué de nous surprendre, d'autant que nous étions partis sur des données classiques mais fausses, limitant les maxima à des intensités de l'ordre de 80 dB. Or, à un mètre, distance que nous avons adoptée comme référence, nous avons rencontré facilement 100, 110 et jusqu'à 120 dB.

Il est logique de penser qu'un individu soumis à une telle intensité, pendant plusieurs heures par jour, puisse voir s'installer une surdité traumatique au bout d'un temps plus ou moins long.

Nous en rapportons ici quelques cas typiques que nous comparons à ceux d'ouvriers travaillant auprès de moteurs d'avions pendant une durée équivalente.

Ils peuvent illustrer les uns et les autres, comme on le voit, les quatre stades de surdité professionnelle (fig. 10, 11, 12 et 13).

On constate que chez ces chanteurs, une surdité s'installe, type surdité professionnelle, démarrant à la fréquence 4.000 c/s et s'étalant ensuite vers les sons aigus, puis les sons graves, tout comme chez les sujets exposés aux bruits.

Autrement dit, et nous insistons tout particulièrement sur ce point, les chanteurs *détruisent leur audition par leur propre intensité sonore*, phénomène dont les conséquences sont très graves.

#### b) *Scotomes (\*) auditifs et scotomes vocaux.*

En effet, les conséquences en sont graves, car cette perte auditive portant sélectivement sur les sons aigus se traduit par un scotome en V qui va en s'accroissant, comme nous avons l'habitude de le constater dans les surdités professionnelles, tandis qu'apparaissent, par ailleurs, les troubles de la voix.

(\*) Trou.

Pour identifier ces derniers troubles, nous avons pratiqué une analyse spectrale par balayage d'un tube cathodique décrivant en abscisses les fréquences en ordonnées, leur intensité relative. Très rapidement nous avons constaté un phénomène fondamental : *le scotome auditif se traduit par l'apparition d'un scotome sur le spectre vocal.*

Nous pouvons en déduire que la destruction d'une voix n'est pas liée, comme on le croit, à une usure, à une destruction du larynx, mais à une diminution du champ auditif, les phénomènes de souffrances laryngées étant secondaires.

En effet, pour qu'un chanteur puisse obtenir cette résonance haute qu'il recherche sans cesse, il lui faut absolument une audition parfaite de la bande qui s'étend au delà de 2.000 c/s. Dès qu'il perd cette possibilité, sa voix « passe en gorge » et les sons dits laryngés sont poussés et forcés. Au départ, le chanteur use de possibilités résonnantielles, c'est-à-dire d'ondes stationnaires faciles à alimenter sans énergie musculaire considérable. Au contraire, les sons de gorge, à gros appuis laryngés, exigent une dépense physique importante et s'avèrent traumatisants pour le larynx.

La perte progressive de l'audition des sons aigus entraîne des troubles de l'émission, d'autant plus rapidement que le registre impose l'utilisation des gammes élevées. Ainsi, les ténors sont les premiers atteints et, dès que le scotome arrive à 2.000 c/s, la carrière du chanteur est sérieusement compromise. Par contre, on sait qu'une voix bénéficie d'une durée d'autant plus longue qu'elle est plus basse. Néanmoins elle est moins riche en harmoniques élevées, elle est plus blanche.

Sans s'attacher spécialement aux chanteurs, on peut remarquer aisément que la voix s'aggrave à mesure que la presbiacousie avance, autrement dit à mesure que l'individu prend de l'âge.

En résumé, on peut dire qu'un sujet n'émet que les sons qu'il est capable d'entendre.

#### LA SELECTIVITE AUDITIVE

Cette dernière conclusion est encore trop vaste et mérite qu'on s'y arrête. S'il est vrai qu'un individu ne reproduit plus les sons qu'il n'entend plus, il ne reproduit pas, pour autant, tous ceux qu'il entend.

C'est pourquoi nous avons recherché ce que nous avons appelé *la sélectivité auditive*, c'est-à-dire la faculté que possède une oreille de percevoir une variation de fréquence à l'intérieur du spectre sonore et de situer le sens de la variation.

Nous avons utilisé les procédés de recherches suivants :

— soit en faisant passer des sons partant des aigus vers les graves, et en demandant à l'individu à partir de quand le son change ;

— soit en envoyant deux bruits à écarts variables et à des hauteurs différentes ;

— mieux encore, en offrant au sujet, grâce à une série de filtres, le choix de régler lui-même son mode d'audition préférée.

Nous avons alors obtenu des résultats surprenants quant à leur portée théorique.

En effet, en ce qui concerne la sélectivité auditive, il existe une oreille bien définie pour les ténors, pour les barytons et les basses, d'où émane une théorie des registres qui corrobore les résultats antérieurs.

De plus, il existe une *audition raciale* sur laquelle nous ne pouvons, hélas, nous étendre, mais sur laquelle nous espérons revenir prochainement.

Quelques exemples suffiront pour montrer toute la portée de ces phénomènes.

L'oreille italienne est une oreille très pauvre. La sélectivité s'inscrit entre 2.000 et 4.000 c/s (fig. 14). Elle est nulle entre 1.000 et 2.000 c/s, tandis que l'oreille française est, au contraire, très limitée entre 1.000 et 2.000 c/s (fig. 15). Nous en verrons expérimentalement les conséquences. Par exemple, l'apparition extraordinaire des nasales en ce qui concerne l'oreille française.

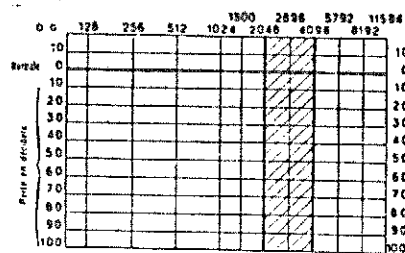


FIG. 14.

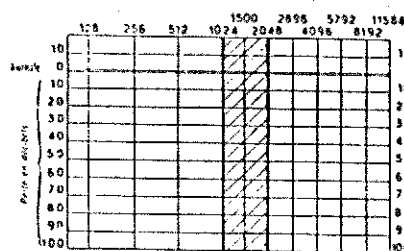


FIG. 15.

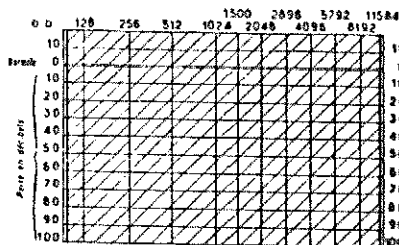


FIG. 16.

Les Russes, par contre, ont une sélectivité très étalée, avec une affinité plus grande vers les graves (fig. 16). Leur voix est large et chaude. De plus, cette bande auditive très étendue, contrairement au cas des Français et des Italiens, leur permet de percevoir toutes les consonnances et, par suite, de les enregistrer. On sait, en effet, avec quelle facilité des Russes apprennent les langues étrangères. Ce phénomène est dû simplement à leur grande perméabilité auditive.

**CONCLUSION. — AUDIOMETRIE OBJECTIVE**

De ces données théoriques et expérimentales, on peut dégager des éléments pratiques considérables. Effectivement, nous avons étudié, depuis plus d'une année, une audiométrie objective, sans participation réelle du sujet examiné, sans que l'on ait à se soucier de ses réponses. Elle est uniquement basée sur les constatations expérimentales précédentes.

Voici comment nous procédons :

Le sujet est placé devant un microphone (M) comme le montre la figure 17. Ce microphone est relié à un analyseur (An) à balayage ultra-rapide automatique à bande très étalée grâce à une superposition de cinq lignes permettant l'analyse spectrale du son de 0 à 10.000 c/s ou 20.000 c/s sur 50 cm.

Ce même microphone permet ensuite d'attaquer un amplificateur (Am) et plusieurs voies nous sont alors offertes :

1° Par le trajet I, l'individu reçoit immédiatement sa voix normale et peut ainsi la contrôler ;

2° Par le trajet II, la voix amplifiée peut, suivant commande, passer :

- soit par un filtre passe-bas, variable de l'infini à zéro ;
- soit par un filtre passe-bande, variable en étalement et en hauteur ;

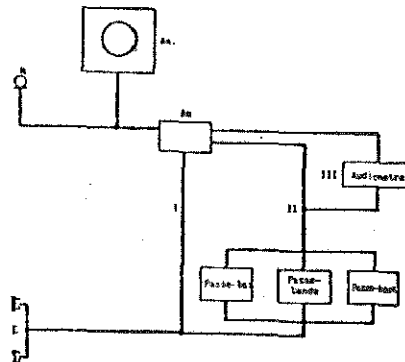


FIG. 17.

3° *Par le trajet III* enfin, la voix est mélangée à un bruit de fond, type bruit blanc, pouvant être dosé en intensité (en décibels) et, par surcroît, limité dans ses dimensions d'étalement grâce aux passages dans le jeu des filtres passe-bas, passe-haut et passe-bandes.

Ainsi nous obtenons les résultats suivants :

1° *Par le trajet I*, l'individu parle normalement devant le microphone, en se contrôlant à l'aide des écouteurs. Nous obtenons alors un spectre d'enveloppe et nous avons vu qu'expérimentalement ce spectre s'inscrit dans la courbe d'enveloppe du spectre auditif de l'individu ;

2° *Par le trajet II*, en utilisant le filtre passe-bas, nous coupons tous les aigus à hauteur variable et nous constatons la compression du spectre sonore dans les limites imposées. De même pour le filtre passe-haut. Dans les deux cas, on note que, pour certaines zones, l'individu ne parvient plus à saturer les bandes offertes. Nous sommes alors dans une zone qu'il ne perçoit plus. Enfin, grâce à la bande passante que l'on peut réduire ou ouvrir à volonté et que l'on peut faire glisser sur tout le trajet du spectre auditif normal, on constate que le spectre vocal suit la même bande passante imposée à l'audition et, chaque fois qu'un trou se révèle sur le spectre sonore du tube cathodique, nous retrouvons le trou auditif. Ce résultat confirme toujours le précédent.

3° *Par le trajet III*, on peut obtenir une autre épreuve au moyen de générateur de bruit blanc. On envoie, dans l'audition du sujet, un bruit de fond progressif. A un moment donné, on constate que le spectre vocal augmente en intensité, et cela d'une façon globale pour toutes les fréquences. Nous avons alors atteint le seuil d'audition. Dès ce moment, le sujet parle plus fort, mais offre toujours un spectre vocal d'allure identique, c'est-à-dire sans modification de timbre. On augmente alors une partie du spectre du bruit blanc injecté, portant par exemple sur la bande 0-1.000 c/s. On voit le spectre vocal faire une translation vers les sons aigus. L'individu se met à parler plus fort et à changer de timbre. C'est un phénomène de Lombard positif.

Nous pouvons ensuite étaler progressivement notre spectre injecté vers les aigus. Au bout d'une certaine limite, 4.000 c/s par exemple, l'individu est incapable d'aller au delà. A ce moment, nous sommes à la limite supérieur de son audition des sons aigus.

On peut ainsi connaître, à l'insu du sujet, l'étalement de son audition et réaliser une véritable audiométrie objective, par contre-réaction, audition-phonation.

On voit donc, par les quelques lignes de cet exposé, la part essentielle que joue l'audition sur la phonation, et les conséquences importantes de ces relations, que nous n'aurons pu que résumer dans cet article.