

Le BRUIT

Les nuisances du bruit

Par le D^r ALFRED TOMATIS

(Paris)

Surdité professionnelle

Audiométrie d'usine — Audiométrie objective

LA SURDITE PROFESSIONNELLE

La preuve n'est plus à faire quant à l'importance des nuisances du bruit, notamment en milieu usinier, où celui-ci revêt les caractères d'un véritable fléau, contre lequel des mesures rigoureuses s'avèrent indispensables. L'essor prodigieux que connaît l'industrie, la mécanisation intensive, la réalisation d'engins de plus en plus puissants et souvent de plus en plus bruyants, en particulier dans les établissements qui nous intéressent, posent le problème du bruit avec une acuité encore jamais atteinte. Le rendement en milieu usinier, on le sait désormais, est fonction, pour une large part, de la protection plus ou moins efficace contre le bruit.

Il est hors de doute que l'oreille, si elle n'est pas l'élément essentiel dans la fatigue au bruit, n'en demeure pas moins une porte d'entrée évidente, et son rôle dans la genèse des troubles d'intolérance aux ambiances sonores est, pour le moins, très important. De plus, l'oreille s'avère actuellement l'élément le plus facile à atteindre, à mesurer et à suivre. Son comportement, sa résistance, ses intolérances, ses défaillances, ses lésions au bruit forment un faisceau dont l'ensemble se groupe dans une symptomatologie bien connue et déjà classique.

On sait que l'audition se trouve altérée par le bruit d'une manière quasiment identique, quelle que soit la source sonore en cause. Le sujet perd son audition en perdant l'étalement de son champ auditif normal. Autrement dit, les caractéristiques de cette surdité traumatique, appelée surdité professionnelle, se traduisent par un rétrécissement du champ auditif, par la perte des aigus et la conservation des graves, ces derniers étant, à leur tour, progressivement atteints. En d'autres termes, les sujets qui en sont frappés ne sont pas des sourds tels qu'on le conçoit ordinairement, car ils continuent d'entendre, mais ils perdent la faculté de comprendre.

Entendre sans comprendre, tel est le trait clinique essentiel de cette surdité. Elle évolue par stades successifs et suit un schéma toujours identique que l'on peut résumer de la manière suivante : partant d'un sujet dont l'audition s'inscrit dans une courbe idéale (fig. 1), sur laquelle aucune perte n'est enregistrée, en glissant de 10.000 hertz (vibrations doubles par seconde) à 125 hertz par exemple, nous verrons la surdité professionnelle évoluer en quatre stades.

1° PÉRIODE D'INSTALLATION D'UN DÉFICIT PERMANENT

Ce stade, qui ne semble pas excéder un mois, traduit l'adaptation progressive des oreilles à l'agression quotidienne et prolongée d'un bruit d'une intensité considérable.

Dès le premier jour, l'audiogramme révèle, aussitôt le travail fini, l'existence d'un déficit d'environ 50 db. sur la fréquence 4.096 hertz (fig. 2). Ce déficit est supérieur au déficit moyen de ceux qui travaillent déjà depuis plus ou moins longtemps dans ce même atelier, mais il n'exprime encore qu'une fatigue auditive considérable prompte à céder au repos.

La seconde journée de travail permettra de le constater avec le même caractère transitoire; mais à se reproduire chaque jour, le traumatisme acoustique finit par aboutir, d'une part au développement de lésions cochléaires irréversibles et à un déficit définitif, d'autre part à une adaptation grâce à laquelle ce déficit permanent sera moins sévère que ne l'était la perte déterminée tout au début par la fatigue auditive, et n'excédera pas 40 db. en moyenne.

2° PÉRIODE DE LATENCE TOTALE

L'oreille s'est désormais adaptée, avec plus ou moins de facilité d'ailleurs suivant les individus.

Le déficit permanent vient de s'installer. Il n'a pas fallu un mois pour que le seuil de l'audition à la fréquence 4.096 hertz soit abaissé d'environ 40 db. Ce déficit évoluera, dans l'avenir, d'une façon beaucoup plus lente et s'effectuera pendant une période variable dans une latence complète, au point que la voix chuchotée elle-même sera pendant longtemps encore perçue normalement.

Mais il existe un scotome au niveau de la fréquence 4.096 hertz, qui affecte un octave et demi ou deux octaves. Il interrompt brusquement le tracé horizontal, par ailleurs normal, de l'audiogramme, pour y creuser, entre les fréquences 2.896 et 5.792 hertz, une tranchée plus ou moins abrupte en forme de « V » dont le sommet s'inscrit sur la fréquence 4.096 hertz. Le déficit sur cette fréquence est en moyenne de 40 db.; il se réduit, dans certains cas, à 20 ou 30 db. (fig. 3); dans d'autres, au contraire, il peut s'élever jusqu'à 70 db.

3° PÉRIODE DE LATENCE SUBTOTALE

La surdité est encore latente, car le sujet continue de percevoir normalement la voix de conversation, mais il a cessé de percevoir normalement la voix chuchotée, ne l'entend plus qu'à 3 m. ou de plus près encore.

L'audiogramme révèle une aggravation du déficit auditif qui s'est creusé et élargi (fig. 4). Au niveau de la fréquence 4.096, la perte atteint maintenant au moins 45 db. et peut, dans bien des cas, s'élever jusqu'à 85 db. En largeur, elle intéresse 2 à 3 octaves: vers les aigus, elle a rejoint ou dépassé la fréquence 8.192; vers les graves, elle progresse vers la fréquence 1.024.

La durée de cette période est fonction du degré de résistance ou de fragilité individuelle des oreilles. Elle est donc très variable d'un sujet à l'autre. Elle peut être relativement brève et ne pas dépasser 2 à 3 ans. Mais elle est, en général, assez prolongée et peut se poursuivre durant 10, 12 et même 15 ans. Beaucoup de sujets se fixent d'ailleurs à ce stade tout en restant exposés au bruit pendant des années encore. Un pareil arrêt de la surdité dans sa progression souligne, selon toute vraisemblance, la perfection de l'adaptation des oreilles au bruit qui continue de les assaillir quotidiennement, mais ne parvient plus à les endommager davantage.

4° PÉRIODE TERMINALE DE SURDITÉ MANIFESTE

Le sujet éprouve maintenant de la difficulté à suivre une conversation. Son interlocuteur doit se rapprocher de lui ou forcer la voix pour se faire entendre. Le sujet se rend compte qu'il devient sourd et que sa surdité progresse régulièrement. Il peut cependant encore la stabiliser en mettant ses oreilles à l'abri du

bruit ou en renonçant définitivement à travailler dans des conditions aussi pernicieuses pour son audition.

L'audiogramme montre l'existence d'un vaste déficit auditif (fig. 5) qui affecte toutes les fréquences aiguës et atteint ou dépasse, vers les graves, la fréquence 512. Il est intéressant de faire remarquer en passant que les premières défaillances dans l'intelligibilité de la parole paraissent coïncider avec un relèvement de plus de 10 db. du seuil de l'audition sur la fréquence 2.896.

Le déficit ne se présente plus, sur l'audiogramme, sous l'aspect d'une tranchée plus ou moins profonde, aux berges obliques et évasées. Il s'inscrit désormais sous la forme d'une oblique qui, à partir de la fréquence 1.024 ou 512 hertz, s'incline progressivement en pente douce vers la fréquence 4.096, dont elle souligne encore la vulnérabilité élective en se relevant souvent quelque peu vers la fréquence 8.192 et où la perte auditive atteint 80 db.

Le malade se plaint souvent, à cette période, de bourdonnements ou de sifflements d'oreille permanents qui exagèrent la surdité.



L'AUDIOMETRIE

C'est l'audiométrie qui s'inscrit en tête du problème de lutte contre le bruit. C'est elle qui permet de suivre les sujets et de les suivre régulièrement. Tous nos efforts doivent se porter sur les *sujets jeunes, récemment soumis aux bruits*. C'est au cours du premier stade que notre rôle est le plus efficace, le plus utile, car nous pouvons alors déterminer l'intolérance, la sensibilité excessive aux bruits. Le sujet ancien, aux lésions auditives confirmées, ne relève actuellement que de dispositions légales devant lui accorder le bénéfice d'une maladie professionnelle, mais il ne demande plus une surveillance assidue, permanente et régulière.

Le jeune devra être examiné à l'embauche puis suivi, si possible, dès les premiers jours, le lendemain même, 3 ou 4 jours après, une semaine après et enfin un mois après. Grâce à cette précaution, l'individu sensibilisé sera immédiatement dépisté et notre rôle de médecin d'usine n'aura pas été vain.

L'audiométrie, l'audiométrie classique dirons-nous, est obtenue grâce à l'audiomètre. L'introduction de ce dernier en otologie devait être ce que les rayons X ont été en pathologie pulmonaire.

Elle se réalise grâce à des générateurs de bruits, sortes de « diapasons électro-niques », à fréquences pures, sans bruits parasites, sans harmoniques, stables et d'intensité mesurable. On peut, à loisir, prendre telle ou telle fréquence. L'habitude veut que nous ayons choisi des « ut » partant de 128 hertz et sautant d'octave en octave pour former un ensemble de sons purs : — 128 — 256 — 512 — 1024 — 2048 — 4096 — 8192 —. Pour les commodités de recherches, on a pris les fréquences suivantes :

125 — 250 — 500 — 1000 2000 4000 8000
y intercalant : 1500 3000 6000 12000

si bien qu'en gros, nous travaillons sur 11 fréquences. Nous avons la possibilité de les employer chacune à une intensité constante ou décroissante, pouvant s'étendre de — 10 décibels à + 100 décibels, en sautant de 5 en 5 db. Des appareillages plus poussés, plus précis, peuvent donner toutes les fréquences intermédiaires et peuvent les mesurer au décibel près. Il s'avère que ces appareillages, véritables engins de laboratoire, n'apportent rien de plus quant aux résultats cliniques, si ce n'est quelques complications complémentaires.

L'audiométrie ainsi réalisée permet d'obtenir une courbe de seuils, c'est-à-dire des seuils minima ou mieux encore des seuils du minimum audible. On la dénomme « audiométrie liminaire ». C'est elle qui nous a permis de réaliser les audiogrammes ci-dessous.

Mais si simples qu'apparaissent ces données, elles présentent de nombreux écueils tant sur le plan pratique que sur le plan théorique.

1° Sur le plan pratique, on se heurte à des difficultés de tous ordres :

- a) L'examen d'audition effectué suivant cette méthode demande environ une demi-heure par individu, si ce n'est plus.
- b) Il devient rapidement fastidieux, tant pour l'opérateur que pour le patient.
- c) Il exige un local totalement insonorisé, une instrumentation souvent complexe.
- d) Il demande la présence d'une main-d'œuvre très spécialisée.

2° Sur le plan théorique, l'utilisation des sons purs rend cette épreuve irréaliste.

En effet, il est exceptionnel de n'avoir à faire qu'à des sons purs, toutes les ambiances sonores étant composées de sons multiples associés à leurs harmoniques, à des bruits émanant de la source, auxquels s'ajoutent les bruits réfléchis par la paroi, à des résultats provenant d'interférences, etc... Rien n'est plus complexe qu'un bruit.

Il paraît donc illusoire d'étudier le comportement d'une oreille, si adaptée à la complexité des bruits, par la recherche de ses réponses à des sons purs. Il en serait de même si nous pensions établir avec certitude une courbe visuelle en plaçant un sujet dans l'obscurité (équivalent de notre silence) et en lui demandant d'apprécier l'apparition de lumières de différentes couleurs spectrales, c'est-à-dire des lumières pures. Nous aurions ainsi une courbe liminaire, et pourtant nous ne saurions pas davantage si notre sujet est justiciable ou non d'une paire de lunettes. Nous ne saurions pas s'il existe des anomalies, des astigmatismes, etc... Le phénomène est identique.

Pour remédier à ces inconvénients, nous avons mis au point deux systèmes :

- le premier permettant un examen de dépistage rapide et faisant l'objet de l'**audiométrie d'usine**,
- le deuxième permettant le dépistage des simulateurs et faisant l'objet de l'**audiométrie objective**.



AUDIOMETRIE D'USINE

Toutes les difficultés que nous venons de citer, nous les avons connues et nous les connaissons encore, étant chargés de la surveillance de quelques milliers d'individus travaillant dans les Arsenaux. C'est pourquoi, sous l'impulsion de l'Institut National d'Hygiène et de Sécurité, nous nous sommes penchés sur le problème de *dépistage rapide*.

Pour ce faire, nous avons réalisé un appareillage simple permettant un examen rapide, ne nécessitant pas une main-d'œuvre spécialisée. Nous l'utilisons, depuis quelques années, dans les Arsenaux. Il s'agit d'un *audiomètre d'usine* dont toutes les manœuvres sont simplifiées et visualisées.

Les résultats s'inscrivent sur un cadran lumineux et ne demandent aucun effort de recherches, de calculs ou de manœuvres. Ils ne sont plus appréciés par la recherche de seuils à partir de sons purs, dont la détermination exige un effort considérable, tant pour l'opérateur que pour le sujet examiné. L'épreuve est basée sur un changement de timbre d'un bruit pratiquement blanc, semblable à un bruit d'usine et émis par plusieurs générateurs dans la progression suivante :

125 — 250 — 500 — 1000 — 1500 — 2000 — 3000 — 4000 — 8000 — 10000
soit 10 générateurs d'octaves. Ces générateurs sont réalisés par dix cristaux taillés aux fréquences données. Leur emploi permet l'obtention d'une fréquence fixe, toujours la même, sans glissement possible dans le temps. L'audiomètre ainsi conçu est un véritable appareillage de mesure, fidèle, sans qu'interviennent, à

aucun moment, des perturbations liées soit à la durée d'utilisation, soit à la tension d'entrée.

Le son émis d'emblée donne un bruit se rapprochant très fort d'un bruit d'atelier. L'augmentation d'intensité partant de - 10 db. et sautant de 5 en 5 db. permet de déterminer le seuil global. Autrement dit, on connaît d'emblée par cette méthode, la valeur globale, chez le sujet examiné, du comportement de son oreille au bruit.

Ensuite, sur un clavier, on joue sur la coupure aux différentes fréquences. Toute fréquence coupée disparaît du spectre mais laisse subsister les autres, si bien qu'il y a modification de timbre sans discontinuation d'émission spectrale. Le sujet examiné entend toujours le bruit de fond mais perçoit le changement de timbre, à condition que son oreille perçoive la fréquence coupée. S'il n'entend pas la modification de timbre, c'est qu'il n'entend pas cette fréquence et, du même coup, on connaît le niveau et l'importance de la faille de l'audition examinée.

Cette épreuve ne dure que quelques secondes et permet ainsi d'apprécier si l'individu a besoin d'un examen audiométrique plus complet. D'ailleurs un simple commutateur permet, sur l'audiomètre d'usine, de passer aux fréquences pures et d'examiner plus en détail les oreilles qui semblent avoir une lésion auditive. Autrement dit, l'audiomètre d'usine se comporte, vis-à-vis de l'oreille, comme le tableau optométrique se comporte vis-à-vis de l'œil. Un œil qui permet de lire toutes les lignes n'a pas besoin d'un examen plus complet, tandis qu'un œil qui ne peut lire au-delà de la cinquième ligne, par exemple, nécessitera un examen plus approfondi.

**

AUDIOMETRIE OBJECTIVE

C'est vers elle également que nos efforts ont convergé durant ces dernières années.

Le problème de la simulation, même involontaire, reste un problème très important à résoudre en milieu usinier. En effet, la sincérité des réponses audiométriques est souvent fonction de l'intérêt que celles-ci peuvent avoir quant à l'avenir du sujet examiné. Dans certains cas, ce dernier reste persuadé qu'une mauvaise audition risque de compromettre sa situation (dans l'aviation par exemple). Dans d'autres cas, l'espoir d'une pension éventuelle le rend subitement plus sourd qu'il n'est en réalité. C'est pourquoi il importe de savoir, par un moyen efficace, si les réponses audiométriques sont exactes, si l'individu ne cherche pas à tricher.

De nombreuses recherches sur les contre-réactions phonation-audition nous ont permis de trouver une solution intéressante à ce problème très particulier. Il existe entre l'audition et la phonation un circuit véritable, et toute rupture, toute déchirure, toute anomalie, si minimes 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.

I. - 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.

— *Voix chantée.*

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

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 qu 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 fig. 6, et l'on peut y 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 indiqué sur la fig 7), le sujet entend juste mais chante faux. Il peut parfois prendre conscience de sa défaillance et arriver à corriger son défaut de justesse.

— 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 fig. 8), 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.

— 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. 9), 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.

— Voix parlée.

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 identiques 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.

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 *bègues*. 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 (fig. 10-11-12).

1° 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 fût-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 dès lors 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 aisément mettre en évidence cette anomalie sur deux schémas très simples. Normalement, le circuit audition-phonation utilise l'itinéraire suivant (fig. 13) :

— 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. 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. 14) : — oreille gauche, — cerveau droit 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 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 de seconde, avec un maximum à 1/15 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 de seconde. Or, 1/5 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 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 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 l'ordre de 1/20 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.

2° 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 un peu plus loin.

3° 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.

II. - 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. 15, 16, 17 et 18). 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. 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 souffrance laryngée 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 résonnantes, 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.

III. - La sélectivité 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 pectre 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. 19). 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. 20). Nous en verrons expérimentalement les conséquences : par exemple, l'apparition extraordinaire des nasales en ce qui concerne l'oreille française. Les Russes, par contre, ont une sélectivité très étalée, avec une affinité plus grande vers les graves (fig. 21). 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.

IV. - Conclusion. Audiométrie 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 fig. 22). 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 zéro à l'infini ;
- soit par un filtre passe-haut, variable de l'infini à zéro ;
- soit par un filtre passe-bande, variable en étalement et en hauteur ;

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-bande.

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 : 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 du générateur du 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 supérieure 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.



CONCLUSION

En conclusion, nous n'insisterons pas sur le rôle important de la surdité professionnelle en Médecine du Travail. On voit néanmoins quels problèmes délicats elle soulève, tant du point de vue matériel que du point de vue recherches.

Il resterait à souhaiter, bien entendu, que des mesures légales puissent être prises parallèlement à ce travail pour qu'il soit possible d'aboutir à une solution efficace.

A. TOMATIS.

RÉSUMÉ

Le bruit s'est vu érigé en un véritable fléau social d'actualité, parallèlement à l'évolution intensive de la mécanisation moderne. L'homme semble l'avoir ignoré dans ses prévisions. Le bruit lui est apparu à son insu. En effet, tout peut être rationnellement construit, calculé, mesuré, étudié, et pourtant n'aboutir qu'à l'élaboration de monstres bruyants. Le problème que pose actuellement le bruit offre une telle acuité qu'il ne doit plus être négligé par le clinicien.

La surdité professionnelle, loin d'être un mythe, est une des affections les plus graves qu'engendre la vie moderne. Les gens qui en sont atteints sont frappés d'une infirmité atroce qui ne peut nous laisser indifférents. Dans l'exposé ci-dessus, après un rappel succinct de la surdité professionnelle, l'auteur s'est efforcé de montrer toute l'importance des moyens de dépistage de la lésion auditive, en étudiant l'audiométrie sous l'aspect théorique et surtout sous l'aspect pratique tel qu'il apparaît en milieu usinier.

L'auteur s'est penché, d'une part, sur le problème de dépistage à l'aide d'audiomètres dits « d'usine » permettant l'examen rapide de chaque individu soumis au bruit. D'autre part, grâce à des recherches personnelles sur les contre-réactions phonaudiométriques, il a mis au point l'audiométrie objective.

SUMMARY

Noise has actually become a real social calamity whose evolution runs in parallel with the intensive development of the mechanization nowadays. It seems that this problem has been completely neglected in human anticipation. Though everything is rationally build, calculated, measured and studied, the offspring of noisy monsters is the result obtained. The problem of noise has actually reached an acute level that requires the physician.

Occupational deafness is not a legend and this affection is one of the most severe diseases due to modern life. In this article, after a short statement on occupational deafness, by his studies on theoretical and practical audiometry, the author did his utmost to show the importance of the means to detect auditive injuries.

On the one hand, he studied this detection with the aid of the so-called « factory audiometers » with which a quick test on each person subjected to noise can be done; on the other hand, by his studies on phono-audiometric counter-reaction, he realised what can be considered as an objective science with audiometry.

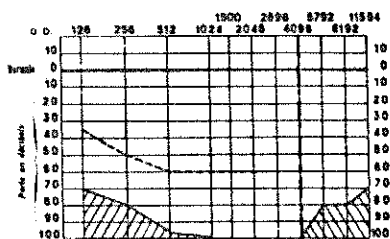


FIG. 1

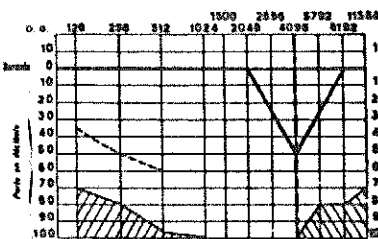


FIG. 2

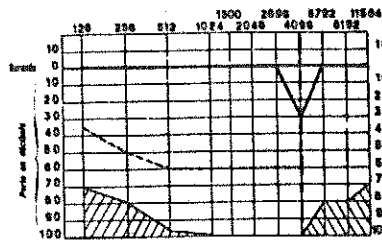


FIG. 3

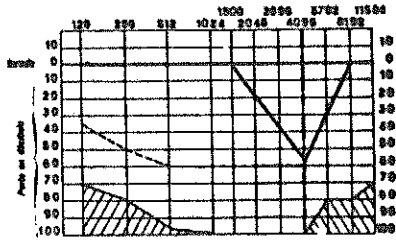


FIG. 4

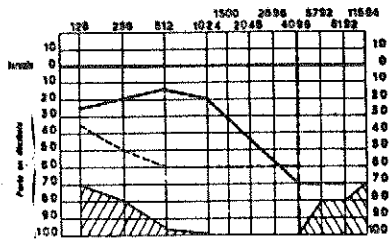


FIG. 5

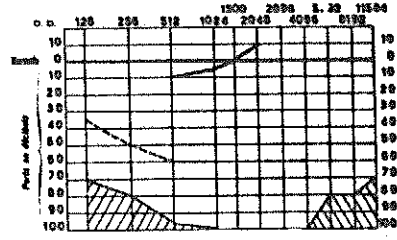


FIG. 6. — Courbe type de l'oreille musicale : on remarque l'ascension relative s'étalant d'une façon progressive de 500 c/s à 2 000 c/s réalisant une dénivellation de l'ordre de 10 à 20 dB.

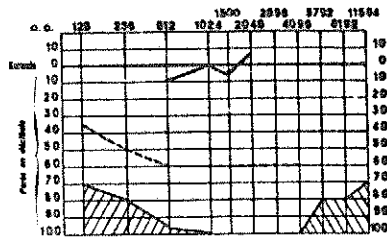


FIG. 7. — Rupture dans l'ascension de la courbe entre 1 000 c/s et 1 500 c/s.

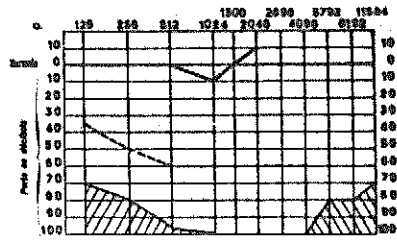


FIG. 8. — Rupture entre 500 c/s et 1 000 c/s. On n'observe plus l'ascension progressive et régulière partant de 500 c/s. Elle ne se fait qu'à partir du 1 000 c/s.

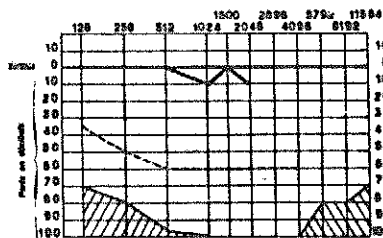


FIG. 9. — Dénembrement total de la courbe qui prend une allure en dent de scie.

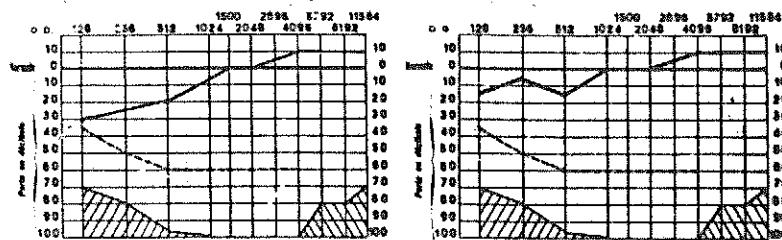


FIG. 10. — Courbe audiométrique d'un sujet bègue.
On note une légère hypacusie relative à droite portant sur les sons graves.

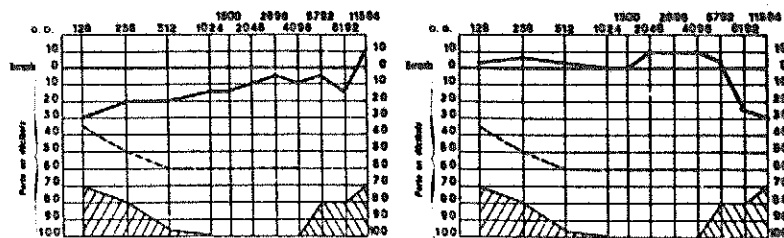


FIG. 11. — Audiogramme d'un sujet bègue.
On note encore l'hypacusie relative droite par rapport à l'oreille gauche hyperauditive.

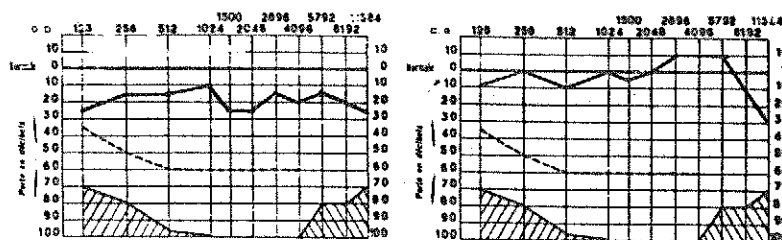


FIG. 12. — Audiogramme d'un sujet bègue révélant une nette hypacusie de l'oreille droite.

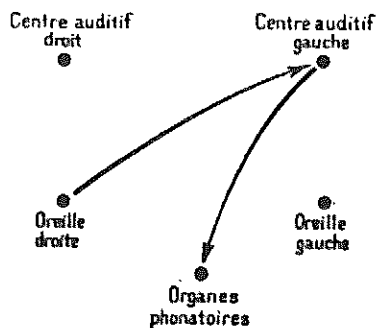


FIG. 13. — Circuit audition-phonation normal chez un sujet droitier: — oreille droite — centre auditif gauche — organes phonatoires.

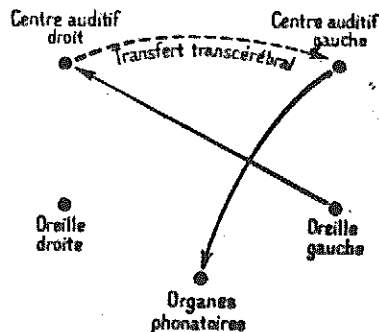


FIG. 14. — Circuit audition-phonation chez un sujet droitier qui a perdu son oreille directrice: on remarque le « transfert transcérébral ».

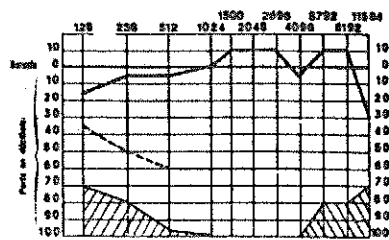


FIG. 15. — Réponses audiométriques relevées sur l'oreille droite de deux sujets. Le schéma gauche répond à un jeune chanteur soumis à son propre traumatisme acoustique depuis 4 ans; le schéma droit est celui qui répond à l'audition d'un metteur au point sur moteur, de même âge et exposé aux méfaits de l'ambiance sonore dans laquelle il travaille depuis quatre ans également. On y note l'ébauche du trou à 4 000 c/s.

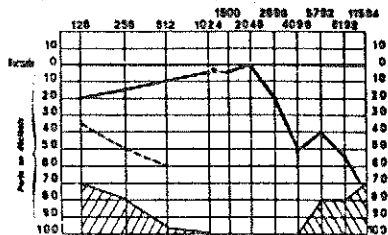


FIG. 16. — Deux sujets, celui de gauche, chanteur depuis quinze ans, celui de droite metteur au point sur moteur depuis le même temps. La chute au delà des 2 000 c/s est maintenant très importante mais ne porte pas atteinte toutefois à l'audition de la conversation.

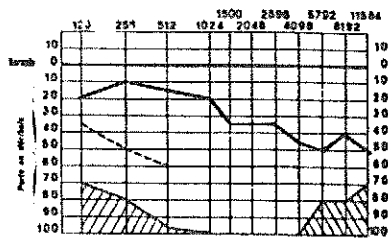


FIG. 17. — Deux courbes répondant à deux individus, l'un chanteur à gauche, l'autre metteur au point. On note le déficit important qui se traduit par une altération appréciable de la zone de conversation. Ce déficit est le résultat de vingt ans d'exposition au bruit.

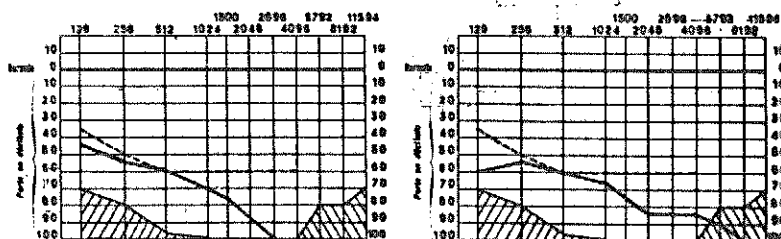


FIG. 18. — Ces deux courbes répondent à deux surdités totales survenues après vingt-cinq ans de traumatisme sonore.

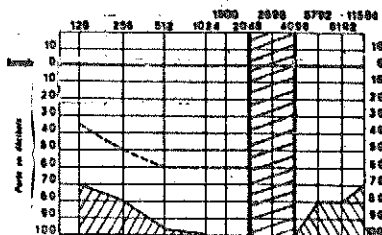


FIG. 19. — Sélectivité d'une oreille italienne. La bande passante s'inscrit entre 2 000 c/s et 4 000 c/s.

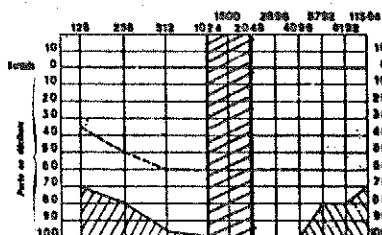


FIG. 20. — Bande de sélectivité d'une oreille type française, limitée entre 1 000 et 2 000 c/s.

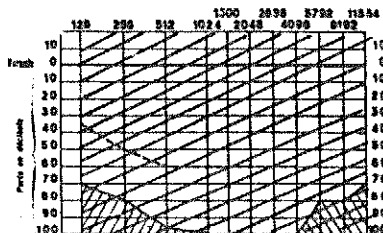


FIG. 21. — Champ sélectif d'une oreille russe, s'étendant des sons graves aux sons extrêmes aigus.

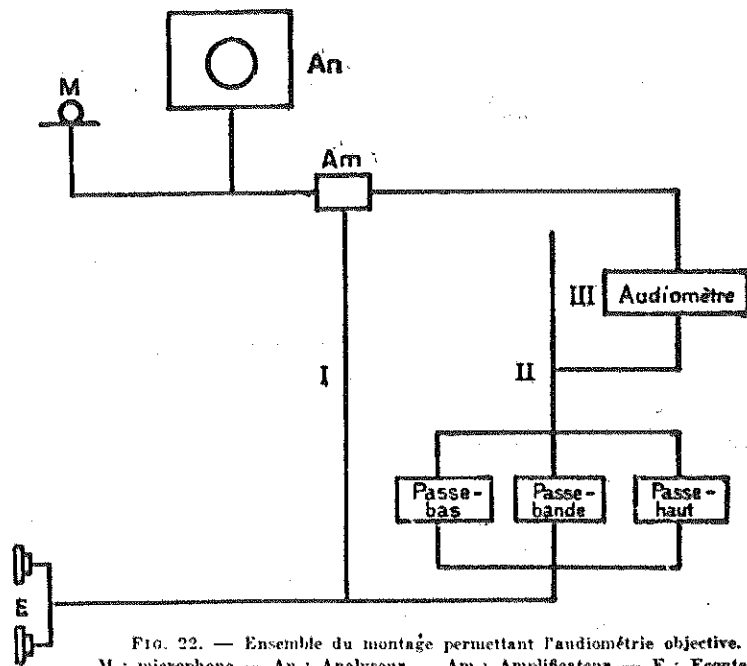


FIG. 22. — Ensemble du montage permettant l'audiométrie objective.
 M : microphone — An : Analyseur — Am : Amplificateur — E : Ecouteur.