

INFLUENCE DE LA LARGEUR DE LA BANDE DE BRUIT BLANC SUR LA PERCEPTION DE SA HAUTEUR

IGOR NÁBĚLEK, JOZEF KRÚTEĽ, Bratislava

En principe il y a deux théories de l'audition, à savoir la théorie de position et la théorie téléphonique. Quant à la théorie de périodicité, elle n'est qu'une modification de cette dernière.

D'après la théorie dite de position, la hauteur du son perçu est déterminée par la location des excitations maximales sur la membrane basilaire et ne dépend pas de la fréquence avec laquelle les influx se succèdent. Elle suppose que le nombre d'influx déclenchés par unité de temps correspond à l'intensité du signal sonore et, par conséquent, détermine la sonie.

La théorie téléphonique nous dit que la hauteur du son est déterminée par la fréquence des influx correspondante à celle du son. En ce cas on suppose que toute la membrane basilaire vibre en même phase.

La théorie de périodicité suppose qu'en raison de quelque filtration mécanique, il arrive que les cellules nerveuses sont excitées seulement dans une certaine petite partie de la membrane basilaire correspondante à sa contre-partie dans l'étendue fréquentielle, et que la hauteur du son est déterminée, comme dans le cas de la théorie téléphonique, par la fréquence des influx.

Dans l'élaboration des signaux acoustiques par l'oreille il se présente des phénomènes dont les uns s'expliquent mieux à l'aide d'une théorie et les autres par l'autre théorie de l'audition. Ainsi des difficultés surgissent quand il faut expliquer la perception de la sonie, séparément de la hauteur, soit par la théorie de périodicité, soit par la théorie téléphonique. D'autre part, la théorie dite de position n'est pas à même d'expliquer d'une manière satisfaisante pourquoi la sélectivité de l'ouïe est bonne malgré la disposition relativement plate de l'excitation le long de la membrane basilaire.

Comme von Békésy a démontré [1], il est possible d'expliquer par la théorie de position certains faits qu'on avait coutume de résoudre par la seule théorie téléphonique. Il semble, cependant, que l'épreuve d'analyseur auditif par le son pur ou bien par le son périodique complexe, n'indique pas laquelle de ces deux théories est préférable. C'est pourquoi, nous sommes d'avis qu'on pourrait atteindre quelques nouvelles connaissances au sujet de l'action de l'ouïe en l'examinant à l'aide des signaux aperiodiques.

Nous nous avons occupé de la possibilité de déterminer la hauteur des bandes de bruit blanc de largeurs variées. On en a signalé la raison ci-devant, mais il y en a encore une autre; nous essayons d'expliquer — en déterminant la hauteur des bandes de bruit blanc de largeurs variées — certaines questions concernant la perception des phénomènes acoustiques transitoires. Ce qui nous intéresse tout particulièrement, c'est la faculté d'analyseur auditif de distinguer des phénomènes transitoires. En étudiant les qualités de l'ouïe par des sons purs stationnaires on établit des circonstances non conformes à son usage normal: en réalité on ne rencontre pas des signaux sonores de cette sorte. Les sons réels, quoiqu'elle soit leur provenance (musique ou parole), sont toujours non-stationnaires et ont un caractère d'un ton ou même d'un bruit. Nos connaissances de l'appareil auditif en ce qui concerne son habilité de percevoir des sons purs stationnaires sont insuffisantes pour la détermination de sa capacité informative dans des circonstances réelles. C'est pourquoi, il est indispensable d'étudier le pouvoir de l'analyseur auditif à distinguer les différents transitoires.

Deux impulsions toniques courtes, de durées différentes, mais de la même fréquence et de la même forme, sont reconnues par l'oreille selon quelques critères: 1. selon la durée apparente de l'impulsion, 2. selon la sonie, 3. selon le timbre, c'est-à-dire, selon la composition fréquentielle. Pendant qu'il n'y a point de difficulté à déterminer le pouvoir différentiel selon les deux premiers critères, c'est-à-dire la durée du signal et la sonie, dans le cas d'impulsions soniques relativement longues, le problème est beaucoup plus compliqué, quand il s'agit des impulsions courtes i. e. d'ordre de quelques msec. La réduction de la durée du signal, en vertu du rapport $\Delta t \cdot \Delta f = \text{const.}$, amène avec elle l'incertitude dans la détermination de la hauteur du signal. Au fur et à mesure qu'on réduit la durée du signal on élargit son spectre: en conséquence, une partie de l'énergie contenue dans l'impulsion se range dans les bandes critiques voisines et si le temps nécessaire pour la formation des bandes critiques était plus court que la durée de l'impulsion¹⁾, sa sonie changerait, pendant que l'énergie sonore contenue dans l'impulsion, resterait constante. Quand les impulsions sont assez courtes (par rapport à la constante de l'intégration de l'ouïe), tout changement de durée entraîne un changement dans la sonie ainsi que dans le timbre.

Quand les impulsions soniques sont de si courte durée que leurs tonalités disparaissent, le son change en bruit dont la largeur du spectre dépend de la durée du son. Plus l'impulsion est courte, plus son spectre est large. Surgit une question: en vertu de quoi l'oreille peut distinguer l'une de l'autre deux impulsions soniques courtes, c'est-à-dire en réalité, deux bruits courts de

1) A ce sujet voir [7].

cette sorte, différents entre eux par leur durée²⁾ ou par leur fréquence; supposé que les deux impulsions soient égales quant à la sonie. On peut supposer que l'oreille en est capable soit en vertu de la différence de la hauteur du bruit perçu, soit en raison de la largeur subjective de la bande de bruit.

Des expériences antérieures avaient mis en évidence qu'avec la réduction de la durée du son, la détermination de sa hauteur est de moins en moins précise. Des données concernant la valeur et la direction de changement de la hauteur dépendant de la durée du son ne manquent pas. Ainsi Bürck, Kottowski et Lichte [2] affirment qu'avec la réduction de la durée du signal, la hauteur des sons de haute fréquence tend à baisser, tandis que celle des sons bas monte. Par contre Eckdahl et Stevens [3] disent que la hauteur de tous les sons (au moins entre 250 et 8 000 Hz) baisse avec la réduction de la durée. D'après les expériences de Doughty et Garner [4] dans le cas d'impulsions durant 6—200 msec et ayant les fréquences de 250, 1 000 et 4 000 Hz, il y a un abaissement de la hauteur, à savoir dans le cas d'impulsions sous 25 msec. Le plus grand changement — 4 % — fut enregistré pour le son de fréquence de 250 Hz durant 6 msec à l'intensité de 90 dB. A l'intensité de 70 dB le changement relatif (en %) fut moindre.

Ce qui explique ce phénomène, c'est précisément le fait que dans le cas des sons courts l'oreille ne perçoit pas une seule fréquence mais une bande de fréquences. En tenant compte de plusieurs facteurs, comme par exemple du fait que les intervalles égaux de la hauteur ont un rapport plus étroit avec les intervalles fréquentiels égaux dans l'échelle logarithmique que dans l'échelle linéaire, on peut s'attendre que l'oreille répondra à la moyenne géométrique de la bande des fréquences plutôt qu'à la moyenne arithmétique: car la moyenne géométrique de la bande des fréquences est la moyenne de ces fréquences dans l'échelle logarithmique. Or, d'après la formule de Cauchy, la moyenne géométrique est toujours moindre que la moyenne arithmétique. Donc la hauteur du son court doit être moindre que celle du son de durée plus longue. Plus le son est court, plus sa bande des fréquences est large et, par conséquent, plus moindre la moyenne géométrique de cette bande en comparaison de sa moyenne arithmétique. Les résultats obtenus par Eckdahl et Stevens [3] et par Doughty et Garner [4] dans l'étude de la hauteur des sons courts confirment cette opinion. Les auteurs qu'on a cités n'ont pas déterminé si les hauteurs enregistrées réellement correspondaient aux moyennes géométriques, car ils ignoraient la largeur subjective de la bande du son court et ne savaient pas non plus quelle devrait être la largeur de la bande des fréquences convenable pour leur calcul. En plus, on est loin de connaître le poids de chacune des fréquences. En fait de la perception des impulsions courtes,

²⁾ La différence des deux durées n'excédant pas, toutefois, le seuil différentiel.

puisqu'il est question de la bande de bruit, comme on l'a déjà constaté, en principe il est possible en mesurant la hauteur des bandes de bruit stationnaire d'obtenir les réponses aux questions posées plus haut, à savoir, quelle est la hauteur des impulsions soniques et quelle en est la largeur fréquentielle subjective. La largeur subjective des impulsions soniques peut être postulée comme l'a indiqué Majernik [5]: Supposant que la dispersion σ_B^2 déterminée en estimant la hauteur de la bande de bruit blanc soit égale à la dispersion $\sigma_{f_s}^2$ obtenue en estimant la hauteur des impulsions soniques, alors nous considérons la largeur de la bande de bruit blanc (ΔB) comme largeur subjective de l'impulsion souique (Δf_s)³⁾

Pour élucider les questions posées plus haut, nous avons fait deux séries d'expériences. Dans la première série qui avait pour but d'examiner l'estimation de la hauteur de la bande de bruit dépendant de la fréquence centrale des bandes, nous avons mesuré des bandes de bruit blanc d'une tierce d'octave à l'intensité de 70 dB.

Les fréquences centrales étaient entre 71 et 5700 Hz. Au cours des expériences le sujet avait pour tâche de comparer la hauteur du bruit de bande avec la hauteur du son pur du générateur des sons purs. L'inversion du bruit au son et le procès contraire faisait le sujet lui-même. Il changeait la hauteur du son jusque les deux signaux lui semblaient avoir la même hauteur. Enfin la fréquence du son pur ainsi obtenue fut notée comme hauteur de la bande de bruit en question. L'expérimentateur présentait des bandes de bruit une à une à son gré. Comme un exemple, la courbe des réponses pour la bande de 500—640 Hz est tracée à la fig. 1. Aux fréquences individuelles données par le générateur des sons purs on ajoutait les tons ou demi-tons les plus proches. Le son correspondant à la fréquence centrale de la bande est marqué par une ligne verticale interrompue, tandis que les sons correspondants aux limites de la bande sont marqués par des lignes continues. Dans la partie supérieure du dessin on a marqué le cours de la pression acoustique. On y voit que la partie majeure des réponses se trouve dans la bande en question, ou dans son voisinage immédiat. Des résultats obtenus de toutes les bandes mesurées il suit qu'on peut déterminer avec précision raisonnable la hauteur de la bande de bruit stationnaire. On constate que la précision de l'estimation de la hauteur de la bande de bruit dépendant de la fréquence centrale de la bande ne change pas beaucoup, bien que les résultats obtenus à l'aide du haut-parleur indiquaient une baisse de précision entre les fréquences de 360—2200 Hz (les expériences ont été faites à l'aide du haut-parleur ainsi qu'avec les écouteurs).

³⁾ Pour une définition plus détaillée voir [5], p. 71.

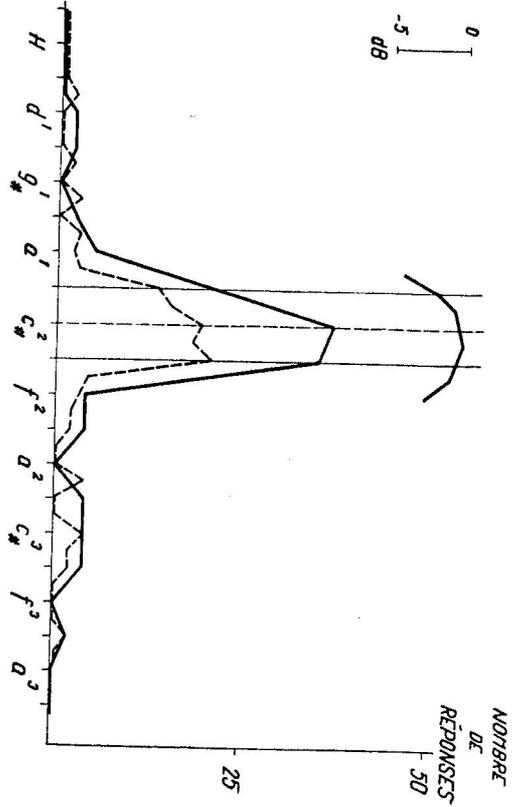


Fig. 1. La courbe des réponses pour la bande 500—640 Hz. L'abscisse — fréquence dans l'échelle tonique; l'ordonnée — nombre de réponses appartenantes aux intervalles des tons (ligne continue) et des demi-tons (ligne interrompue). Dans la partie supérieure — le cours de la pression acoustique.

Puisque nous avons déjà donné un rapport détaillé des résultats de cette série d'expériences [6], nous ne nous arrêterons pas ici aux résultats déjà y présentés.

Dans la deuxième série nous avons vérifié la précision de l'estimation de la hauteur des bandes de bruit en dépendance de leurs largeurs. Les expériences procédaient de la même façon que dans le cas précédent. Nous avons employé les largeurs suivantes: 1/38, 1/14, 1/5, 1/3 et 1 octave. Tous les expérimentés étaient faits sur les fréquences centrales de la bande de 250, 1000 et 4000 Hz à l'intensité 70 dB. Des résultats obtenus on a calculé les moyennes géométriques de toutes les réponses (70—90 réponses à chaque valeur testée) ainsi que les écarts-types pour chaque fréquence centrale. Nous prenons ces moyennes géométriques pour hauteur de la bande de bruit perçu. Les résultats sont tracés dans le tableau 1 et à la fig. 2.

Comme on voit, la moyenne géométrique perçue à la fréquence de 250 Hz est dans toutes les bandes de bruit pratiquement identique avec la moyenne arithmétique de la bande. La plus grande différence, 3 Hz, fut constatée dans la bande d'une tierce d'octave. L'accord apparent entre la moyenne géométrique et la moyenne arithmétique dans la bande d'une octave peut

Tableau 1

L'estimation de la hauteur des bandes de bruit en dépendance de leurs largeurs. Fréquences centrales 250, 1000 et 4000 Hz. ΔB — largeurs de la bande de bruit [octaves]; A — moyenne arithmétique de la bande de bruit [Hz]; A' — moyenne géométrique des réponses [Hz]; σ_B — écart-type [%].

ΔB	250 Hz			1000 Hz			4000 Hz		
	A	A'	σ_B	A	A'	σ_B	A	A'	σ_B
1/38	250	250	5,6	1000	988	2,4	4002	4145	8,0
1/14	250	250	5,7	1002	994	3,0	4008	3998	8,1
1/5	251	253	8,2	1005	999	8,3	4010	3975	10,2
1/3	252	255	7,3	1020	1034	8,8	4050	4145	8,5
1	263	262	23,9	1069	955	19,4	4326	4145	16,0

être expliqué par la dépendance fréquentielle de la sensibilité de l'ouïe. Pour les fréquences centrales de 1000 et 4000 Hz les moyennes géométriques perçues se trouvent, dans la plus part des cas, au-dessous des moyennes arithmétiques correspondantes. La plus grande différence fut enregistrée, comme on le

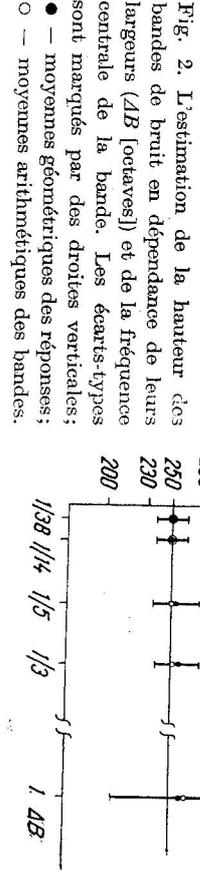


Fig. 2. L'estimation de la hauteur des bandes de bruit en dépendance de leurs largeurs (ΔB [octaves]) et de la fréquence centrale de la bande. Les écarts-types sont marqués par des droites verticales; ● — moyennes géométriques des réponses; ○ — moyennes arithmétiques des bandes.

pouvait attendre, pour la largeur d'une octave. Dans cette bande la moyenne géométrique diffère considérablement de la moyenne arithmétique. Probablement on peut constater alors, que l'ouïe humaine perçoit plutôt la moyenne géométrique que la moyenne arithmétique.

Les écarts-types augmentent dans la direction des bandes plus larges, comme on pouvait l'attendre. Dans la fig. 3 sont tracées les courbes d'écarts-types de toutes les trois fréquences centrales de la bande contre la largeur

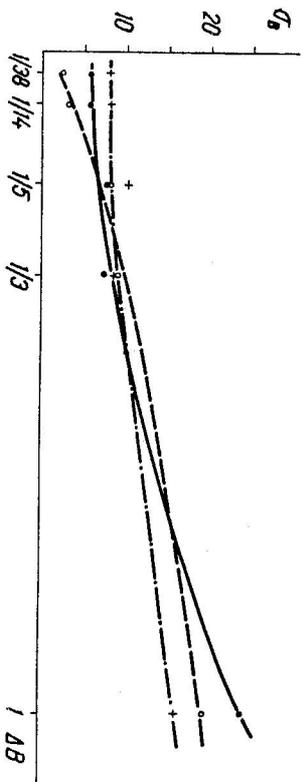


Fig. 3. Dépendance des écarts-types (σ_s [%]) de la largeur de la bande (ΔB [octaves]). —, ● — 250 Hz; - - - - - , □ — 1000 Hz; - · - · - , + — 4000 Hz; $L = 70$ dB.

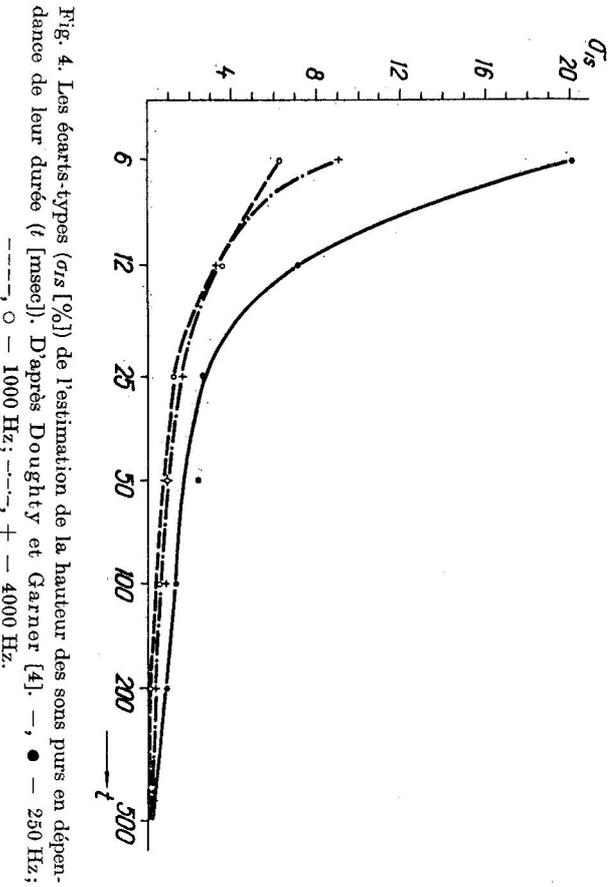


Fig. 4. Les écarts-types (σ_s [%]) de l'estimation de la hauteur des sons purs en dépendance de leur durée (t [msec]). D'après Dougherty et Garner [4]. —, ● — 250 Hz; - - - - - , □ — 1000 Hz; - · - · - , + — 4000 Hz.

de la bande. On voit qu'elles sont toutes essentiellement analogues. La courbe de 1000 Hz seule indique une basse plus marquée dans les bandes étroites.

En nous servant des écarts-types donnés par Dougherty et Garner [4] (fig. 4) dans leurs estimation de la hauteur des sons brefs, nous pouvons à l'aide des figures 3 et 4 déterminer la largeur subjective ($\Delta f/s$) de la bande des impulsions soniques. Ainsi pour le son de 1000 Hz de durée de 12 msec σ/s est égale à 3,6 %. Quand nous projetons cette valeur dans la fig. 3, nous constatons que la largeur subjective de la bande de cette impulsion est égale à 50 Hz. Quand on a réalisé que pour une impulsion sonique la largeur de la branche principale du spectre $\Delta f = f_2 - f_1$ déterminée à l'aide des fréquences $f_{1,2} = f_0 \pm 1/d$, où f_0 est la fréquence du son et d sa durée en secondes (dans notre cas 12 msec) est égale à 166 Hz, on voit que la largeur subjective de la bande est pour les impulsions mentionnées plus étroite. Pour le son de 4000 Hz dont la durée est 6 msec, la branche principale du spectre se trouve entre 3834 et 4166 Hz et, par conséquent, la largeur subjective de la bande est plus grande. Les valeurs respectives sont données séparément dans le tableau 2.

Tableau 2

L'estimation de la largeur subjective de la bande pour les impulsions soniques courtes. Fréquences 250, 1000 et 4000 Hz. Δf — largeur de la branche principale du spectre [Hz]; $\Delta f/s$ — largeur subjective de la bande pour les impulsions soniques [Hz]; t — durée des impulsions [msec].

t	250 Hz		1000 Hz		4000 Hz	
	Δf	$\Delta f/s$	Δf	$\Delta f/s$	Δf	$\Delta f/s$
6	333,3	150,7	333,3	127,7	333,3	1049,7
12	166,6	33,7	166,6	49,6	166,6	—

La dispersion estimée par Dougherty et Garner pour des impulsions soniques de plus longue durée était moindre que les valeurs de la dispersion reçues au cours de nos expériences, même pour les bandes les plus étroites et c'est pourquoi il nous n'était pas possible d'estimer la largeur subjective des impulsions de longue durée. On peut seulement constater que leur largeur est moindre que 1/38 d'octave.

Finalement il faut dire que la dernière partie de cet exposé, c'est-à-dire l'estimation de la largeur subjective de la bande des impulsions soniques, n'est qu'un coup d'essai de trouver un nouvel accès à ce problème. Au cours de nos expériences il s'est montré que la dispersion de l'estimation de la hauteur des bandes de bruit était différente chez quelques uns des sujets bien que les moyennes géométriques fussent pareilles. L'analyse statistique

des résultats nous indique que les écarts-types donnés dans ce traité ne peuvent être pris comme valeurs définitives.

Il nous semble que pour pouvoir faire des conclusions affirmatives il serait convenable de fixer pour chaque sujet non seulement la dispersion de l'estimation de la hauteur des bandes de bruit mais aussi la dispersion de l'estimation de la hauteur des impulsions soniques brèves. Puisque nous ne connaissons pas les propriétés des sujets mesurés par Dougherty et Garner touchant l'estimation de la hauteur des bandes de bruit, la détermination de la largeur subjective des impulsions soniques doit être considérée comme préalable.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Békésy G. von, *J. Amer. Acoust. Soc.* 35 (1963), 588.
- [2] Bürck W., Kotowski P., Lichte H., *El. Nachr.-Techn.* 12 (1935), 326.
- [3] Stevens S., Davis H., *Hearing: its psychology and physiology*. J. Wiley and Sons, New York 1938, 101.
- [4] Dougherty J. M., Garner W. R., *J. exp. Psychol.* 38 (1948), 478.
- [5] Majerník V., *Fyz. časopis SAV* 17 (1967), 65.
- [6] Nábělek I., Krútel J., Majerník V., *Ein Beitrag zur Bestimmung der Tonhöhe von Bandpaßbräusen*. III. Akustikai konferencia, Budapest 1964, 308.
- [7] Zwicker E., *J. Amer. Acoust. Soc.* 38 (1965), 132.

Reçu le 28 Novembre 1967

*Psychology ústav SAV,
Bratislava*