

La relation entre la largeur des filtres auditifs et les seuils d'audibilité

Raymond Héту, Hung Tran Quoc
Groupe d'acoustique de l'université de Montréal, Montréal, Québec

Dans le cadre de la mise au point d'une méthode clinique de mesure de la sélectivité fréquentielle, nous avons entrepris d'adapter la mesure des filtres auditifs aux contraintes de l'examen clinique. La procédure a été optimisée auprès d'auditeurs normaux et des données normatives ont été recueillies [1]. Le présent projet visait à raffiner la stratégie d'examen auprès de personnes malentendantes, auprès desquelles une première collecte de données a permis d'identifier certaines difficultés méthodologiques [2]. Les questions suivantes ont été abordées: comment traiter les données lorsque l'asymétrie des filtres est telle que le calcul de la pente supérieure du filtre donne un résultat aberrant? A partir de quelle degré de perte auditive une personne est-elle susceptible de montrer une perte significative de sélectivité, d'une part, et une perte complète de sélectivité d'autre part?

La mesure des filtres auditifs est fondée sur le principe selon lequel le seuil masqué (P_s) variant en fonction des fréquences de coupure d'un bruit à échancrure est directement proportionnel à la puissance du bruit qui passe à travers le filtre. L'équation 1 définit cette relation:

$$P_s = K F_c N_0 \left[\int_{-\infty}^0 W_l(g) dg + \int_0^{\infty} W_u(g) dg \right] \quad (1)$$

où F_c est la fréquence centre du filtre, N_0 , le niveau spectral du bruit, K , une constante de proportionnalité, g , la fréquence de coupure normalisée de l'échancrure. $W_l(g)$ et $W_u(g)$ définissent respectivement les branches inférieure et supérieure du filtre d'après les équations suivantes:

$$W_l(g) = (1-r)(1+p_l g) e^{-P_l g+r} \quad (2)$$

et

$$W_u(g) = (1-r)(1+p_u g) e^{-P_u g+r} \quad (3)$$

Dans ces équations, P_l et P_u correspondent à la pente inférieure et supérieure du filtre et r , à sa gamme dynamique. L'effet de l'asymétrie du filtre sur le calcul des pentes à partir des seuils masqués est illustré à la Figure 1. On y a simulé l'effet d'un rapport $p_u/p_l=3$ sur la mesure des seuils masqués en présence de 6 conditions d'échancrure. On note que les seuils masqués déterminés par les deux branches combinées du filtre auditif sont assimilables à ceux qui auraient résultés de la seule influence de la branche inférieure; par contre, ils ne permettent pas de déduire les caractéristiques de la branche supérieure (équation 3) et, par conséquent, la largeur elle-même du filtre. Cette illustration, bien que théorique, démontre la nécessité de procéder à une mesure distincte des caractéristiques de la branche supérieure du filtre auditif dans les cas de forte asymétrie. Cette contrainte a été prise en compte dans la procédure d'examen décrite plus bas. Par ailleurs, la question de la relation entre élargissement du filtre et perte d'audition a gouverné le recrutement des participants à l'étude.

Méthodologie

Participants

Les 31 participants à l'étude ont été recrutés parmi les bénéficiaires des services de réadaptation audiolinguistique de l'Institut Raymond-Dewar de Montréal. Les critères d'exclusions étaient les suivants: (a) écart entre seuils tonals aériens et osseux supérieur à 10 dB; (b) tympanogramme anormal; (c) seuil d'audition maximal entre 0.25 et 4 kHz supérieur à 75 dB HL [3]; (d) âge supérieur à 65 ans ou inférieur à 18 ans.

Les critères d'inclusions étaient les suivants: montrer des évidences d'atteinte neuro-sensorielle et une courbe audiométrique descendante (écart entre la moyenne des seuils à 2, 3 et 4 kHz et la moyenne des seuils à 0.25, 0.5 et 1 kHz supérieur à 10 dB).

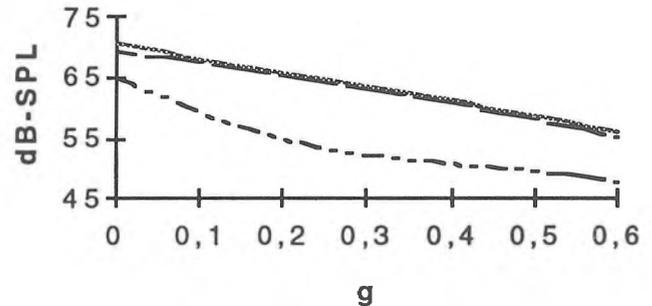


Figure 1. Seuils masqués déterminés par la branche inférieure (P_{sl} - trait interrompu), supérieure (P_{su} - trait achuré) et par les deux branches combinées (P_s - trame) du filtre en fonction de g , lorsque $P_l=7$, $P_u=21$, $r=20$ dB et $K=0$ dB.

Procédure

Le dispositif et la procédure de mesure des filtres étaient identiques à ceux utilisés lors de la mise au point du protocole simplifié [1], sauf pour la prise en compte de l'asymétrie du filtre. La méthode de Békésy servait à la mesure des seuils masqués pour 4 conditions d'échancrure symétriques par rapport à la fréquence du signal et 2 conditions asymétriques. Le niveau de densité spectral du bruit (N_0) était d'abord fixé à 40 dB/Hz si le seuil absolu était inférieur à 55 dB HL; si le seuil masqué en condition d'absence d'échancrure ($g_l=g_u=0.0$) était de 10 dB supérieur au seuil absolu, les 5 autres conditions d'échancrure étaient alors testées. Si l'écart était inférieur à 10 dB, N_0 était fixé à 50 dB/Hz; si l'écart entre seuil masqué et seuil absolu était inférieur à 5 dB, l'examen était terminé. Dans le cas contraire, on procédait à la mesure des seuils masqués pour les 5 autres conditions d'échancrure.

Le traitement numérique des données en fonction des équations 1, 2 et 3 suivait la procédure proposée par Glaberg et Moore [4]. La sélectivité des filtres auditifs a été caractérisée par le calcul de la largeur des filtres rectangulaires équivalents (ERB). Les valeurs obtenues à $N_0=50$ dB/Hz ont été converties en valeurs estimées pour $N_0=40$ dB/Hz [4], puisque les valeurs normatives ont été recueillies dans cette condition [1].

Lors du traitement des données, l'absence de sélectivité fréquentielle a été définie par un écart inférieur à 3 dB entre le seuil masqué obtenu en l'absence d'échancrure ($g_l=g_u=0.0$) et le seuil masqué obtenu en présence d'une échancrure maximale ($g_l=g_u=0.5$).

Indépendamment du niveau spectral utilisé, lorsque le calcul de P_u donnait une valeur aberrante, c'est-à-dire plus grande que celle obtenue chez des auditeurs normaux [1], des mesures complémentaires étaient effectuées avec un bruit passe-haut dont la fréquence de coupure, g_u , variait de 0.0 à 0.5 par pas de 0.1. Les seuils masqués ainsi obtenus ont été introduits dans l'équation 3.

Résultats et discussion

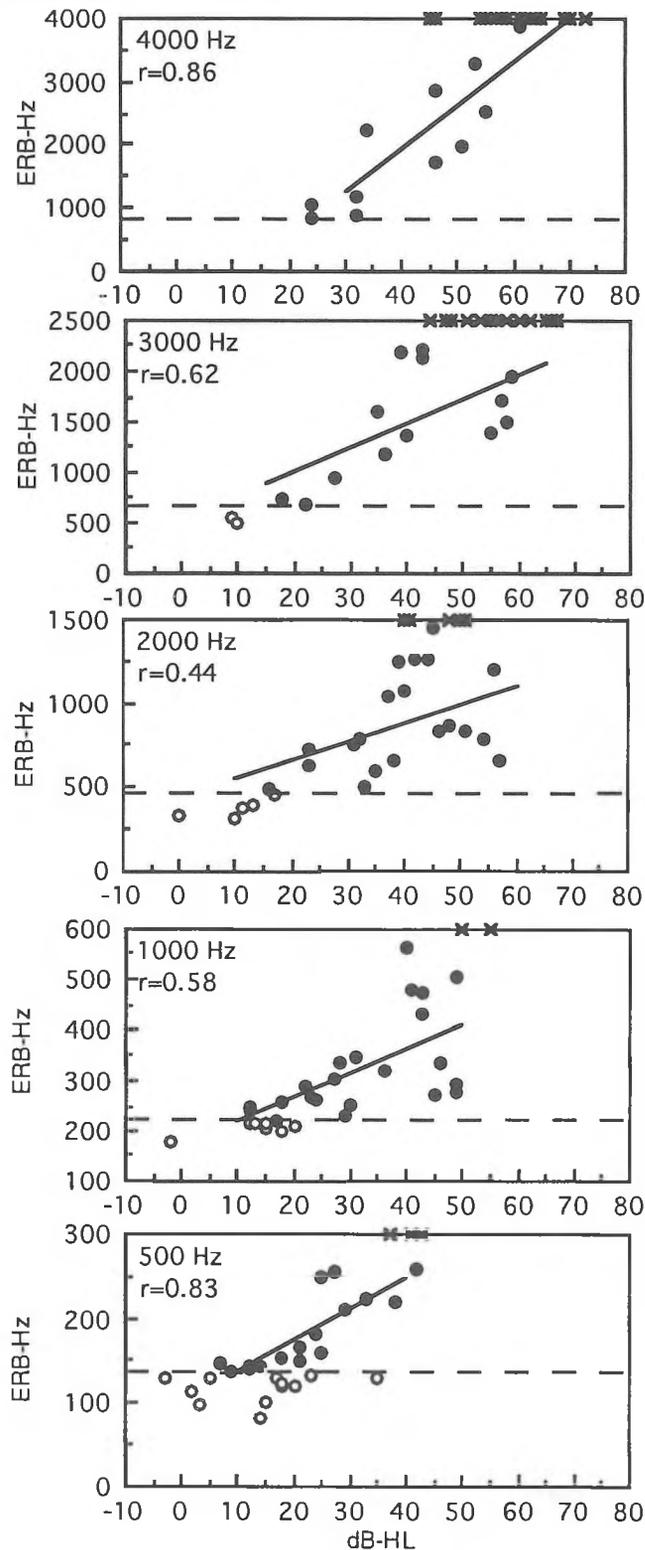


Figure 2. Distribution des valeurs de ERB en fonction des seuils audiométriques à 5 fréquences; la droite pointillée indique le 95ème centile des ERB dans une population normale [1]; les cercles vides correspondent aux cas de ERB normaux, les cercles pleins, aux cas de ERB anormalement élargis et les "x" aux cas d'absence de filtre auditif (N=31).

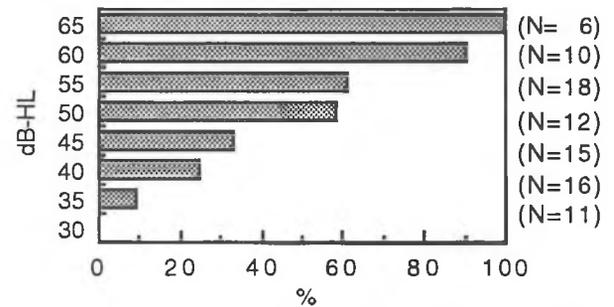


Figure 3. Proportion des cas d'absence de sélectivité en fonction des seuils d'audition (à 5 fréquences audiométriques) regroupés par classes de 5 dB.

Le problème de valeurs de pente p_U aberrantes s'est posé dans 21 cas sur 155 mesures et a été résolu de façon satisfaisante dans 11 d'entre eux par la procédure décrite plus haut. Les autres cas correspondaient à une absence de masquage à 50 dB/Hz ou à une valeur extrême d'asymétrie du filtre.

La Figure 2 montre les résultats obtenus en termes de largeurs des filtres auditifs. Aucune corrélation significative ne pouvait être obtenue entre valeurs de ERB et seuils absolus lorsque les ceux-ci étaient inférieurs ou égaux à 15 dB HL [1]. Cependant, on observe une relation systématique et statistiquement significative ($p < 0.05$) chez les personnes présentant des filtres anormaux à 5 fréquences différentes (Fig. 2). Toutefois, à seuil égal, on observe des variations inter-individuelles importantes, en particulier à 1, 2 et 3 kHz. On remarque que des pertes significatives de sélectivité (valeurs supérieures au 95ème centile de la population normale) apparaissent à des seuils absolus voisins de 20 dB HL. Il s'agirait bien d'une frontière en-deçà de laquelle la mesure clinique des filtres auditifs présenterait généralement peu d'intérêt (sauf dans les cas de plaintes explicites de difficultés d'audition dans le bruit).

Par ailleurs, l'absence de sélectivité est observée dans certains cas pour lesquels le seuil absolu n'est que de 40 dB HL. Comme le montre la Figure 3, la probabilité d'absence de filtre croît de façon systématique à partir de cette valeur. A des seuils de 50 à 59 dB HL est associée une probabilité voisine de 50% d'absence de sélectivité. Les données reproduites à la Figure 3 suggèrent en outre qu'il est inutile d'entreprendre des mesures de sélectivité fréquentielle dans les cas où les seuils absolus atteignent ou dépassent 65 dB HL.

La poursuite de notre collecte de données sur un plus grand nombre de personnes malentendantes offrira des assises encore plus solides aux estimations rapportées ici. Nos résultats offrent néanmoins des réponses satisfaisantes à nos questions de départ.

Etude subventionnée par l'I.R.S.S.T. (#N/D PE-90-13).

References

- [1] Héту, R. et Tran Quoc, H. Adaptation d'une procédure de mesure des filtres auditifs aux contraintes de l'examen clinique. Cahiers de l'audition, 1992, 5: 10-16.
- [2] Laroche, C., Héту, R., Tran Quoc, H., Josseland, B. and Glasberg, B. Frequency selectivity in workers with noise-induced hearing loss. Hearing Research, 1992, 64: 61-72.
- [3] ANSI-S3.6. Specifications for audiometers. American National Standard Institute, New York (1989).
- [4] Glasberg, B.R. and Moore, B.C.J. Derivation of auditory filter shapes from notch-noise data. Hearing Research, 1990, 47: 103-138.