

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Localisation sonore dans le bruit :

Pourquoi une variabilité inter-individuelle ?

Guillaume Andéol¹, Anne Guillaume¹, Lionel Pellieux¹, Sophie Savel² et Annie Moulin³

¹Institut de Recherche Biomédicale des Armées, BP 73, 91223 Brétigny sur Orge

²Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, 31 chemin Joseph Aiguier, 13402 Marseille cedex 20

³Laboratoire Neurosciences Sensorielles, Comportement et Cognition, CNRS UMR 5020, Université de Lyon, 69437, Lyon cedex 03
gandeol@imassa.fr

Les précédentes études sur localisation sonore dans le bruit réalisées chez l'humain ont révélé d'importantes différences individuelles. Du fait de son rôle de démasquage dans le bruit, le système olivocochléaire efférent médian, pourrait être à l'origine de cette variabilité inter individuelle, d'autant plus que son activité varie de manière importante d'un individu à l'autre. Nous nous proposons ici d'examiner l'hypothèse selon laquelle les différences inter-individuelles dans l'activité du système olivocochléaire efférent médian pourraient rendre compte des différences inter-individuelles dans la localisation sonore dans le bruit. Plus précisément, nous avons cherché à mettre en évidence une corrélation entre les performances de détection et de localisation de sources sonores dans le bruit (champ diffus) et l'activité du système olivocochléaire efférent médian, mesurée par la suppression contralatérale des otoémissions acoustiques provoquées. Nos résultats suggèrent un possible rôle du système olivocochléaire efférent médian dans l'origine de la variabilité inter-individuelle observée en localisation sonore dans le bruit.

1 Introduction

La détection et la localisation des sources sonores en ambiance bruyante sont des fonctions fondamentales de l'audition des mammifères, permettant aux proies comme aux prédateurs de survivre. La présence chez tous les vertébrés d'un système auditif corticofugal pourrait être une conséquence d'une pression sélective pour optimiser la détection et la localisation sonore dans le bruit [1]. Ce système auditif corticofugal se compose de multiples boucles de rétroaction agissant à différents niveaux des voies auditives [2], et pouvant exercer une action directe sur le système auditif périphérique via le faisceau olivocochléaire efférent médian (FOCEM). En effet, le FOCEM peut moduler l'activité des cellules ciliées externes, responsables de la discrimination fréquentielle fine au sein de la cochlée. Du fait de cette action modulatrice, le FOCEM est supposé être impliqué d'une part dans la protection de l'oreille contre les agressions sonores et d'autre part dans le démasquage des signaux acoustiques dans le bruit. Plus précisément, il a été montré que le FOCEM facilitait le démasquage du spectre d'un stimulus sonore transitoire dans un bruit continu [3]. Le spectre d'une onde sonore arrivant au niveau du tympan contient de fines variations spectrales, critiques pour la localisation sonore, appelés « indices spectraux ». Ces indices spectraux proviennent du filtrage spectral induit par les reliefs anatomiques de la partie supérieure du corps (particulièrement les oreilles externes) ; ce filtrage varie selon l'angle d'incidence de l'onde sonore. Les indices spectraux permettent de déterminer l'orientation d'une source sonore dans le plan vertical, et de juger si elle se trouve devant ou derrière, tandis que les indices binauraux (différences interaurales de temps et d'intensité) codent

pour l'orientation de la source sonore dans le plan horizontal.

Comparativement aux indices binauraux, les indices spectraux apparaissent moins robustes à une dégradation du rapport signal sur bruit. Ainsi, en environnement bruyant, un auditeur juge correctement la position d'une source sonore dans le plan horizontal jusqu'à de forts niveaux de bruit, alors qu'il commet des erreurs de jugement dans le plan vertical et dans la distinction avant/arrière dès de faibles niveaux de bruit [4]. Cependant, d'un auditeur à l'autre, la dégradation de la performance varie [5]. Cette variabilité inter individuelle fait écho à celle observée dans l'efficacité du FOCEM, impliqué dans la perception sonore dans le bruit. Nous proposons de tester l'hypothèse d'un lien entre le fonctionnement du FOCEM et les capacités individuelles de localisation sonore dans le bruit.

2 Matériels et méthodes

2.1 Participants

Dix huit personnes, 8 femmes et 10 hommes, tous droitiers, ont participé à cette étude. L'âge moyen était de 31 +/- 8 ans. Aucun d'entre eux ne possédait d'antécédent audiolinguistique et leurs seuils auditifs étaient inférieurs à 20 dB HL pour les fréquences comprises entre 0,125 et 8 kHz (0,125, 0,250, 0,500, 1, 2, 3, 4, 6, et 8 kHz).

2.2 Dispositifs expérimentaux pour la localisation et la détection sonore dans le bruit

Les tâches de localisation et de détection ont été conduites en chambre semi anéchoïque dans laquelle un cube de 2,92 m de côté a été mis en place. Huit haut-parleurs ont été installés à chaque sommet du cube. La tête

du sujet était positionnée au centre du cube grâce à un siège à la hauteur ajustable. Il était demandé au participant de regarder droit devant elle/lui en gardant la tête droite. Une caméra vidéo autorisait un contrôle permanent de la position de la tête à la fois par l'expérimentateur et par le participant (grâce à un écran placé devant le participant). Les haut-parleurs étaient visibles. Tous les stimuli sonores ont été générés et contrôlés en utilisant un processeur TDT system III.

Le signal était un bruit rose (0,3-9 kHz), 55 dB SPL, émis par un des 8 haut-parleurs. Le masque était un bruit rose (0.125-15 kHz) dont le niveau variait entre 50 et 62.5 dB SPL par pas de 2,5 dB. Il était présenté en champ diffus produit par les 8 haut-parleurs. Le signal (200 ms) était temporellement centré dans le masque (500 ms).



Figure 1 : Photographie de la « noix de coco », dispositif ovoïde à 8 boutons, chaque bouton désignant un haut-parleur.

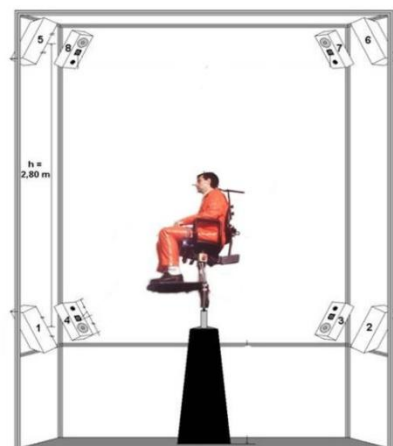


Figure 2 : Emplacement du participant et des 8 haut-parleurs à l'intérieur de la chambre anéchoïque.

2.3 Protocole de localisation dans le bruit

Les auditeurs effectuaient une tâche d'identification de haut-parleurs à choix forcé. A chaque essai, le signal était émis par un des 8 haut-parleurs, le sujet devait indiquer lequel via le dispositif de la figure 1 qui comportait 8 boutons, chacun désignant un des 8 haut-parleurs. Le sujet n'avait pas de retour sur la justesse de sa réponse. Il effectuait cette tâche dans 7 conditions d'ambiance sonore : le silence, et 6 niveaux de bruit : 50 à 62,5 dB SPL ce qui correspond à un rapport signal sur bruit (signal to noise ratio, snr) de +5 à -7,5 avec un pas de 2,5. Le haut-parleur qui émettait le signal ainsi que l'ambiance sonore (silence ou bruit) variaient aléatoirement d'un essai à l'autre. Au cours d'une session expérimentale, chaque sujet effectuait 5 réponses par haut-parleur (8) et par condition d'ambiance

sonore (7) soit $5 \times 8 \times 7 = 280$ essais. Chaque sujet effectuait 4 sessions dont une session d'entraînement exclue des analyses. Les données recueillies étaient le pourcentage d'identifications correctes de haut-parleurs, moyenné sur les 8 haut-parleurs, pour chaque ambiance sonore.

2.4 Protocole de détection dans le bruit

Les auditeurs effectuaient une tâche de choix forcé à 2 alternatives. A chaque essai deux stimuli sonores étaient présentés consécutivement. Parmi ces deux stimuli, un ne contenait que le masque tandis que l'autre contenait le masque et la cible. tel que les stimuli employés lors de la tâche d'identification de haut-parleurs.

L'auditeur devait indiquer le stimulus contenant la cible en appuyant sur un des deux boutons d'une manette de jeu qu'il tient dans la main. Le sujet n'avait pas de retour sur la justesse de sa réponse. Seuls les 3 ambiances sonores les plus défavorables furent testées (bruit masquant à 57,5 ; 60 et 62,5 dB SPL soit $\text{snr} = -2,5$; -5 et $-7,5$). Au cours d'une session chaque sujet effectuait 6 réponses par haut-parleurs (8) par niveau de bruit masquant (3) soit $6 \times 8 \times 3 = 144$ essais. Chaque sujet effectuait trois sessions. Les données recueillies étaient le pourcentage d'identifications correctes de l'intervalle contenant le signal, moyenné sur les 8 haut-parleurs, pour chaque ambiance sonore.

2.5 Mesure de l'activité du faisceau olivo-cochléaire efférent médian

L'activité du système efférent était évaluée par la réduction d'amplitude des otoémissions acoustiques transitoires ipsilatérales par une stimulation acoustique contralatérale (bruit large bande de 35 dB SL). Les otoémissions acoustiques sont de petites ondes sonores pouvant être enregistrées par une sonde placée dans le canal auditif externe. Elles sont le reflet de l'activité des cellules ciliées externes qui reçoivent un contrôle inhibitif, via des connections synaptiques cholinergiques avec les fibres nerveuses du FOCEM. La stimulation acoustique contralatérale induit une activation du FOCEM entraînant une inhibition des cellules ciliées externes et ainsi une réduction de l'amplitude des otoémissions.

La mesure de l'activité du FOCEM a été effectuée dans une chambre sourde, le sujet étant assis confortablement sur une chaise. Les otoémissions ont été enregistrées en réponse à des stimuli ipsilatéraux d'intensités comprises entre 54 et 66 dB SPL (par pas de 3 dB) présentés dans un ordre aléatoire, avec et sans stimulation contralatérale. La métrique utilisée pour quantifier le FOCEM était la distance euclidienne [6]. La distance euclidienne était calculée à partir des représentations graphiques des fonctions entrée/sortie obtenues avec et sans stimulation contralatérale.

3 Résultats

Les performances moyennes de localisation variaient de 32.96% (+/-9.80) pour le plus fort niveau de bruit (62.5 dB SPL soit un snr de -7.5) à 92.36% (+/- 6.94) pour le silence. Quant à la détection, la performance moyenne s'échelonnait de 70.6% (+/- 7.03) à 62.5 dB SPL ($\text{snr} = -7.5$) jusqu'à 94,61% (+/- 3.88) pour un niveau de bruit de 57.5 dB SPL ($\text{snr} = -2.5$).

Une régression non linéaire a été conduite sur les performances de localisation (pourcentage d'identifications

correctes de haut-parleurs) en fonction du niveau du bruit masquant, en utilisant une fonction logistique d'équation (1) à 3 paramètres pour créer une fonction psychométrique [7].

$$y = a / (1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^b) \quad (1)$$

L'axe des y correspondait au pourcentage d'identifications correctes de haut-parleurs et l'axe des x correspondait au niveau du bruit masquant. "a" désignait la valeur maximale de la courbe (proche de la performance maximale du sujet), x_0 correspondait à la valeur de x (niveau de bruit) conduisant à une diminution de moitié de la performance maximale (« a »), « b » correspondait au "facteur pente". Cette équation permettait de déterminer un "seuil de localisation" défini comme le niveau de bruit conduisant à une performance à mi chemin entre la performance maximale théorique (100%) et la chance (12,5%).

La quantification de l'activité du FOCEM pour chaque sujet était obtenue à partir de la moyenne des distances euclidiennes mesurées pour les oreilles droite et gauche. Une importante variabilité inter-individuelle a été observée : la moyenne était égale à 0,84 pour un écart type de 0,35 d'où un coefficient de variation de 0,35/0,84= 41%.

Dans le but de tester l'hypothèse d'une relation entre la capacité de localisation sonore dans le bruit et l'activité du FOCEM, nous avons recherché d'éventuelles corrélations entre les paramètres de la fonction psychométrique de localisation (« a », « x_0 », « b », « seuil de localisation ») et la valeur de la distance euclidienne moyenne pour chacun des participants. Nous n'avons pas observé de corrélation significative entre l'efficacité du FOCEM et le « seuil de localisation » ($r=0.42$ $p=0.09$). Cependant, la valeur du x_0 s'est révélée plus élevée chez les auditeurs ayant un FOCEM plus actif ($r=0.56$ $p=0.02$), c'est-à-dire que ces auditeurs apparaissent mieux résister au bruit que ceux ayant un FOCEM moins actif (figure 3).

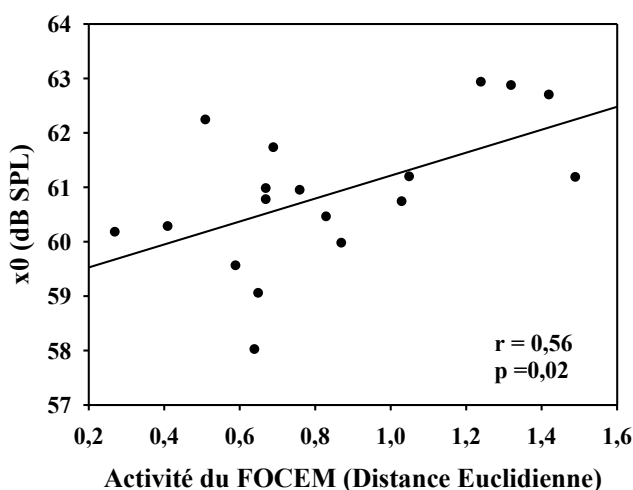


Figure 3 : corrélation entre l'activité du FOCEM et la valeur du x_0 (niveau de bruit induisant une diminution de moitié de la performance maximale de localisation), chez 18 participants ($r=0.56$ $p=0.02$).

Cette relation n'a pas pu être expliquée par l'amplitude des otoémissions en elle-même. En effet, la corrélation

entre l'amplitude des otoémissions mesurées à 60 dB SPL sans stimulation controlatérale et x_0 s'est révélée non significative : $r = -0.41$ $p=0.09$. Néanmoins, la corrélation entre x_0 et l'activité du FOCEM aurait pu reposer sur une corrélation sous jacente entre l'activité du FOCEM et la capacité à détecter le signal au sein du bruit masquant. Mais aucune corrélation n'a été observée entre l'activité du FOCEM et la performance de détection sonore dans le bruit pour les niveaux testés : (57.5 dB SPL ($snr = -2.5$) : $r=0.14$ $p=0.57$; 60 dB SPL ($snr=-5$) $r=0.14$ $p=0.57$; 62.5 dB SPL : $r=0.08$ $p=0.74$). Enfin, nous n'avons pas observé de corrélation entre l'activité du FOCEM et les autres paramètres de la fonction psychométrique ("a" et "b").

La valeur x_0 pouvait être considérée comme une évaluation indirecte de la dégradation de la performance provoquée par le bruit (différence entre la performance dans le silence et la performance dans le bruit). Cela nous a conduits à rechercher une corrélation entre l'activité du FOCEM et la dégradation de la performance pour chaque niveau de bruit. Cette corrélation était significative pour les deux niveaux de bruit les plus élevés (60 dB SPL = $snr = -5$ et 62.5 dB SPL, $snr=-7.5$). Lorsque le bruit masquant atteint ces niveaux, la dégradation de la performance des auditeurs ayant un FOCEM plus actif est moindre d'où une corrélation négative entre activité du FOCEM et dégradation de la performance (à 60 dB SPL $r=-0.58$ $p=0.01$; et à 62.5 dB SPL $r=-0.75$ $p<0.001$ (figure 4).

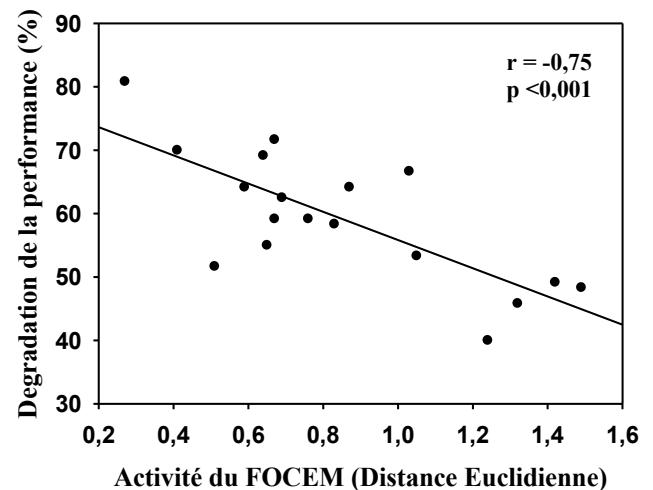


Figure 4 : corrélation entre l'activité du FOCEM et la différence de pourcentage d'identifications correctes de haut-parleurs entre le silence et la présence d'un bruit masquant de 62,5 dB SPL, ($snr = -7,5$) chez 18 participants ($r=-0.75$ $p<0.001$).

4 Discussion

Nos résultats sont en faveur d'un lien entre localisation sonore dans le bruit et activité du FOCEM. Plus précisément, les auditeurs avec un fort FOCEM sont moins perturbés par une ambiance bruyante que les auditeurs avec un faible FOCEM. Cette observation est cohérente avec le rôle de démasquage des signaux auditifs dans le bruit joué par le FOCEM. De plus cette relation ne repose pas sur une meilleure détection des sources sonores dans le bruit. Il est donc probable que l'action du FOCEM soit particulièrement sensible au niveau de la bande de fréquence où se trouvent les indices spectraux de localisation (>3-4 kHz).

5 Conclusion

La variabilité inter individuelle dans l'activité du FOCEM semble jouer un rôle dans la variabilité inter individuelle observée en localisation sonore, les sujets montrant un FOCEM « fort » étant les sujets les moins perturbés par un fort niveau de bruit. Le mécanisme sous jacent pourrait être un démasquage des indices spectraux de localisation.

Références

- [1] Smith D.W., Kirk E.C., Buss E., "The function(s) of the medial olivocochlear efferent system in hearing", In Pressnitzer D., de Cheveigné A., McAdams S. And Collet (Eds), *Auditory Signal Processing: Physiology, Psychoacoustics, and Models*, 75-83 (2004)
- [2] Suga N. "Role of corticofugal feedback in hearing", *J. Comp. Physiol. A.* 194(2), 169-183 (2008)
- [3] Guinan J.J., "Olivocochlear efferents: Anatomy, physiology, function and the measurement of efferent effects in humans", *Ear Hear.* 27(6), 589-607 (2006)
- [4] Good M.D., Gilkey R.H. "Sound localization in noise : The effect of signal-to-noise ratio" *J. Acoust. Soc. Am.* 99(2), 1108-1117 (1996).
- [5] Best V., "Auditory spatial perception with sources overlapping in frequency and time" *Acta Acustica united with Acustica*, 91, 421-428 (2005)
- [6] Chery-croze S., Moulin A., Collet L., Morgon A. "Is the test of medial efferent system function a relevant investigation of tinnitus" *Br. J. Audiol.* 28(4-5), 255-266 (1994).
- [7] Moore D.R., Hine J.E., Jiang Z.D., Matsuda H., Parsons C.H., King A.J. "Conductive hearing loss produces a reversible binaural hearing impairment" *Journal of Neuroscience* 19(19), 8704-8711 (1999).