

Nouvelle approche en audiologie

Utilisation d'une chambre acoustique versatile pour l'évaluation des capacités auditives fonctionnelles

Chantal Laroche, Ph.D., Christian Giguère, Ph.D., Véronique Vaillancourt, M. Sc.S.

Unité de recherche en bruit et communication
Laboratoire de recherche en audition
Université d'Ottawa
451, chemin Smyth
Ottawa, ON, K1H 8M5
Tél : +613 562 5800 poste 3066
E-mail : claroch@uottawa.ca
Canada

Résumé

Les tests d'audition sont généralement réalisés à l'intérieur de cabines audiométriques qui doivent répondre à des exigences acoustiques dictées par les normes. On sait toutefois que les environnements acoustiques dans lesquels les individus atteints de déficience auditive évoluent quotidiennement correspondent très rarement à des ambiances de cabines audiométriques. Les contraintes associées à l'atténuation des parois des cabines (ex. coût) peuvent donc être minimisées au profit d'un contrôle plus rigoureux du champ sonore à l'intérieur de la cabine, afin de recréer des environnements plus réalistes de la vie quotidienne. Lors de l'aménagement de l'unité de recherche en bruit et communication de l'Université d'Ottawa, les chercheurs ont opté pour une cabine acoustique versatile qui offre une atténuation des parois satisfaisante et qui permet, à l'aide de panneaux réversibles réfléchissants ou absorbants, de recréer des environnements typiques tels que les restaurants, salles de séjour, milieux de travail, etc. Les caractéristiques de cette cabine versatile ainsi qu'un exemple d'utilisation sont présentés.

Abstract

For several decades, hearing tests have been carried out in audiometric test rooms which must meet acoustical requirements set forth in standards. It is however generally accepted that acoustical environments in which individuals with hearing loss function daily seldom correspond to environments found in audiometric rooms. Constraints regarding the sound attenuation by room walls (i.e. costs) can thus be minimized with a more rigorous control over the sound field, thereby allowing to recreate more realistic environments of daily living. During the planning stage of the Research Unit on Noise and Communication at the University of Ottawa, the researchers opted for a versatile acoustic room with reversible panels (reflective or absorbing) that not only offers adequate sound attenuation by walls but also allows to recreate various typical environments (i.e. restaurants, living rooms, work environments, etc.). The characteristics of this versatile acoustic room, as well as an example describing its applications of use are presented.



est indéniable que le domaine de l'audiologie a progressé au cours des dernières décennies. On n'a qu'à penser, entre autres, aux développements dans le domaine des potentiels évoqués, des acouphènes, des implants cochléaires, des aides auditives ou de la gestion du cérumen. Les approches d'intervention en réadaptation ont aussi connu un essor important, grâce au développement de questionnaires qui permettent de mieux cerner les incapacités auditives et les obstacles auxquels se trouvent confronter les personnes atteintes de déficience auditive (ex.: [1]). Ainsi, plusieurs avancées ont été faites du côté des outils d'évaluation afin d'aider au diagnostic ou à une meilleure compréhension des situations d'handicap vécues par ces individus.

Malgré tous ces progrès, la pratique audiologique courante est encore trop souvent axée sur le diagnostic, particulièrement en ce qui a trait à l'utilisation de l'audiogramme [2]. S'il est vrai que la mesure des seuils d'audition en cabine

audiométrique est essentielle pour déterminer un site et un degré de lésion, l'audiogramme nous apprend très peu de choses sur le fonctionnement d'un individu au quotidien. Il est plutôt rare de se retrouver dans un environnement sonore comparable à celui d'une salle audiométrique. Par ailleurs, les tests audiométriques sont souvent réalisés sous écouteurs et une seule oreille est évaluée à la fois (écoute monaurale). Dans la réalité, les gens utilisent leurs deux oreilles (écoute binaurale) et évoluent, la plupart du temps, dans des ambiances sonores relativement bruyantes. Ils doivent alors réaliser des tâches auditives beaucoup plus complexes que la simple détection de sons purs, comme la reconnaissance de la parole ou la localisation de sources sonores dans le bruit.

Ce constat a amené les membres de l'Unité de recherche en bruit et communication de l'Université d'Ottawa à développer une approche innovatrice en ayant recours à une chambre acoustique versatile qui permet de recréer

des environnements davantage comparables à ceux de la vie quotidienne. Les caractéristiques de cette chambre ainsi qu'un exemple d'utilisation sont présentés dans cet article.

Chambre acoustique versatile

La chambre acoustique versatile de l'Unité de recherche en bruit et communication de l'Université d'Ottawa a été construite et installée en 2004 par la compagnie Eckel. D'une dimension intérieure de 4,29 m x 3,65 m x 2,42 m (L x l x h), elle compte 35 panneaux amovibles de 10 cm d'épaisseur disposés sur les murs et le plafond. Les panneaux peuvent être absorbants ou réfléchissants et permettent ainsi le contrôle de la durée de réverbération. Un panneau de jonction permet de brancher des équipements à l'extérieur de la chambre. La porte est munie d'une petite fenêtre d'observation et une caméra miniature a été installée à l'intérieur de la chambre afin d'observer les participants lors des expérimentations.

Avant le début d'une collecte de données quelconque, des tests de durée de réverbération, d'uniformité du champ sonore et de directivité sont menés afin de déterminer la configuration optimale permettant de reproduire le champ sonore d'environnements particuliers, propres au projet en cours. Par exemple, une récente collecte de données a été faite pour le compte de la Défense nationale canadienne. Des bruits caractéristiques de l'environnement militaire ont donc été reproduits à l'intérieur de la chambre à l'aide de haut-parleurs qui seront décrits à la section «Équipement». La configuration de la chambre pour ce projet est présentée à la figure 1. Il s'agit de 22 panneaux absorbants et de 13 panneaux réfléchissants distribués autour de la chambre et au plafond. Le plancher est recouvert d'un tapis mince posé sur une épaisseur de contreplaqué (1,6 cm d'épaisseur) et de deux épaisseurs (2 X 1 cm) de caoutchouc.

Équipement

Un ordinateur génère les signaux de bruit et de parole à l'aide d'une carte de son stéréo (LynxOne) comportant deux canaux (droit et gauche) qui permettent des entrées et sorties digitales ou analogiques. Normalement, les échantillons de bruit sont aléatoirement choisis parmi des échantillons de bruit représentatifs de l'environnement à l'étude, préalablement enregistrés sur les sites sélectionnés. Il est aussi possible de générer un bruit en continu. Les échantillons de parole sont extraits du test HINT (Hearing in Noise Test) anglophone [3] ou francophone [4]. Le matériel vocal de ces tests est constitué de phrases simples, composées de 5 à 7 syllabes. Un logiciel contrôle le rapport signal/bruit et la séquence de présentation des stimuli.

La figure 2 illustre le dispositif expérimental. Les deux sorties correspondant aux deux signaux sonores (bruit et parole) sont égalisées spectralement afin de compenser pour la réponse de la chambre, via un multiprocesseur programmable (Rane RPM26z), unité de communication avec l'ordinateur reliée par un câble Ethernet. Le signal de bruit égalisé est par la suite séparé en 4 canaux à la

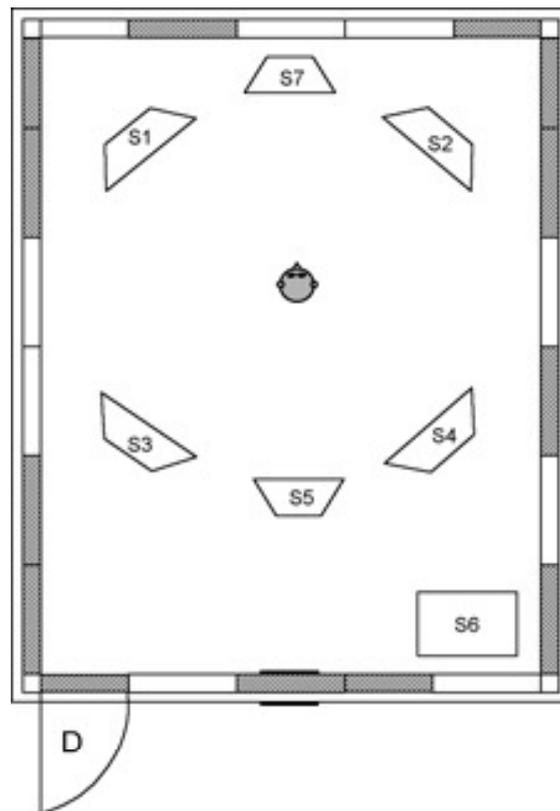


Fig. 1: Disposition de la chambre acoustique et configuration des haut-parleurs utilisés lors d'un projet pour la Défense nationale canadienne. Les panneaux absorbants et réfléchissants sont représentés par les formes rectangulaires ombragées ou claires, respectivement. S1-S6: haut-parleurs utilisés pour générer le bruit diffus. S7: haut-parleur utilisé pour les signaux de parole

Layout of the simulation room and loudspeaker configuration for the DRDC project. Sound absorptive and reflective panels are represented by shaded and unfilled rectangular shapes, respectively. S1-S6: Loudspeakers used to generate a diffuse noise field. S7: Loudspeaker used for speech signals

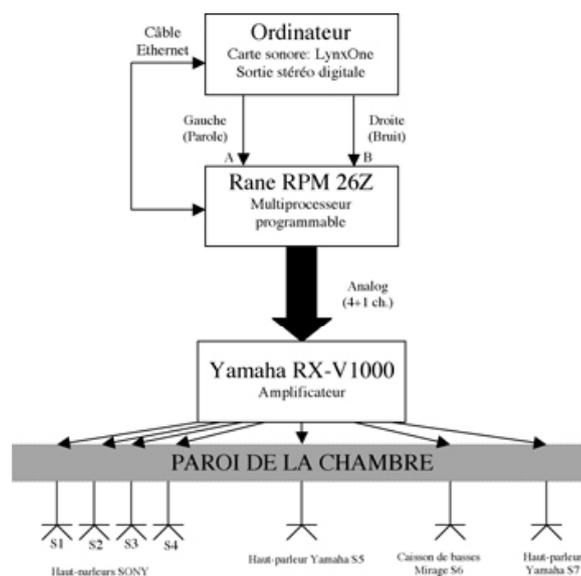


Fig. 2 : Dispositif expérimental pour la génération des signaux de parole et de bruit dans la chambre acoustique

Experimental setup for generating speech and noise signals in the test chamber

sortie du multiprocesseur, avec comme sortie supplémentaire, le signal de parole. Tous ces signaux sont amplifiés par un amplificateur (Yamaha RX-V1000). Quatre haut-parleurs de type tour (S1-S4; Sony MF600H), un haut-parleur monté sur un trépied (S5; Yamaha NS-C155) et un caisson de basses («subwoofer») (S6; Mirage Sub12) sont utilisés pour générer le bruit dans la chambre acoustique, alors qu'un haut-parleur additionnel (S7 : Yamaha NS-C155) est utilisé pour présenter les stimuli de parole. Le participant est assis au milieu des haut-parleurs, en faisant face au haut-parleur S7 situé à 1 mètre du centre de sa tête (voir figure 2).

Procédures d'étalonnage

Étalonnage de la réponse en fréquences de la chambre et des équipements

Un multiprocesseur programmable (Rane RPM26z) est utilisé pour filtrer les signaux de parole et de bruit afin de compenser une réponse potentiellement non-uniforme des haut-parleurs et de la chambre lors des expérimentations. Cette procédure permet de s'assurer que les signaux sonores (bruit et parole) présentés à l'intérieur de la chambre acoustique ont la même représentation spectrale que les enregistrements originaux de bruit et de parole. L'unité RPM26z permet de programmer jusqu'à 2 égalisateurs (un pour le bruit et l'autre pour la parole) de 30 bandes graphiques à l'aide du logiciel Drag Net.

Le processus d'étalonnage est mené à l'aide d'un analyseur 1/3 octave (B&K Type 2250) et d'un microphone omnidirectionnel (B&K Type 4189) placé à la position de la tête du participant dans la chambre acoustique (le participant étant absent). Un bruit rose, caractérisé par une quantité égale d'énergie par bande de 1/3 d'octave, est généré par l'ordinateur alors que les ajustements de l'égalisateur programmable sont variés jusqu'à ce qu'un champ sonore uniforme soit obtenu (i.e. le même niveau sonore dans chacune des bandes de 1/3 d'octave). Cette procédure est entreprise séparément pour chacun des canaux de parole et de bruit.

Durée de réverbération

La durée de réverbération se définit comme la durée nécessaire pour qu'un son décroisse de 60 dB de son niveau original, à partir du moment où la source sonore est interrompue. La durée de réverbération est fortement liée aux dimensions de la salle et à l'absorption des murs, du plancher et du plafond. Un environnement hautement réverbérant est propice à un champ sonore diffus et uniforme à la position du récepteur, mais, en même temps, peut affecter la transmission de la parole de la source vers le récepteur et du fait même sa reconnaissance. Dans plusieurs expérimentations menées dans notre chambre acoustique versatile, les enregistrements de bruit ont été faits

dans des environnements constitués de multiples sources sonores. Lors de la configuration de la chambre acoustique versatile, l'objectif est normalement de recréer des conditions d'écoute optimales en utilisant un champ diffus pour le bruit et un stimulus de parole champ libre situé à une courte distance devant le récepteur.

La mesure de la durée de réverbération et de l'indice de transmission sonore (STI : Sound Transmission Index [5]) est normalement réalisée pour la configuration sélectionnée pour un projet spécifique, en utilisant le logiciel Dirac (B&K Type 7841). Pour la mesure de la durée de réverbération, une source omnidirectionnelle (B&K Omnisource 4295) est utilisée pour différentes positions source-microphone dans la chambre. Le tableau 1 présente les résultats de la configuration mise en place à la figure 1 pour les fréquences de 250 à 8 000 Hz. Pour la mesure du STI, la source est le haut-parleur S7 (soit celui utilisé pour générer la parole) et le microphone se trouve à la position de la tête du participant, en son absence.

Pour le projet de la Défense nationale, un STI de 0,97 a été mesuré. Cette valeur représente la transmission de la parole émise par le haut-parleur S7 vers le récepteur, dans des conditions optimales, soit lorsqu'aucun bruit n'est généré dans la chambre. La haute valeur du STI et la courte durée de réverbération indiquent que les caractéristiques de la chambre ont un impact négligeable sur la perception de la parole pour la configuration sélectionnée.

Uniformité et directivité du champ sonore

Des tests sont menés afin de vérifier que les 6 haut-parleurs (S1-S6) générant le bruit à l'intérieur de la chambre (Figure 1) produisent un champ sonore uniforme et diffus à la position d'écoute (position de référence), correspondant au centre de la tête du participant [6, 7]. Par ailleurs, l'uniformité spatiale du champ libre généré par le haut-parleur S7 associé à la parole est aussi vérifiée.

L'uniformité dans la propagation du bruit est vérifiée à l'aide d'un microphone omni-directionnel (B&K 4189), en mesurant la variation des niveaux de pression sonore par bandes d'octave à la position d'écoute et à six points de mesure décalés de 15 cm autour de cette position dans les axes droit-gauche, haut-bas et avant-arrière. Un bruit rose est généré à travers les haut-parleurs S1 à S6. Les résultats sont présentés au tableau 2a (page suivante) pour la configuration illustrée à la figure 1. Les différences droite-gauche sont inférieures à 2 dB et la variation des niveaux de pression sonore pour les 7 positions spatiales autour de la position de référence est inférieure à 4 dB dans toutes les bandes d'octave ainsi que pour le niveau d'interférence de la parole (Speech Interference Level (SIL)) [8]. Ces valeurs sont toutes conformes aux spécifications de tolérance pour des tests d'écoute dans un champ diffus [6]. L'uniformité

| Bandes d'octave | 250 Hz | 500 Hz | 1 000 Hz | 2 000 Hz | 4 000 Hz | 8 000 Hz |
|-----------------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|
| DR (s) | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,16 |
| STI | 0,97 | | | | | |

Tabl. 1: Durée de réverbération et Indice de transmission sonore (STI) dans la chambre versatile
Reverberation time and Speech Transmission Index in the listening room

| Bandes d'octave | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 000 Hz | 2 000 Hz | 4 000 Hz | 8 000 Hz | SIL |
|-----------------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|-------|
| Diff. D-G (dB) | 1,9 | - 0,9 | 0,7 | - 0,8 | - 0,2 | - 0,4 | 1,2 | - 0,2 |
| Étendue (dB) | 2,8 | 1,6 | 3,7 | 3,0 | 3,2 | 2,7 | 3,7 | 2,3 |

Tabl. 2a: Différences droite-gauche dans le champ sonore du bruit et variations moyennes du niveau de pression sonore pour les 7 positions spatiales autour de la position d'écoute (haut-parleurs S1-S6)

Left-Right difference in the noise field and overall sound level range over 7 positions around the listening space (loudspeakers S1-S6).

| Bandes d'octave | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 000 Hz | 2 000 Hz | 4 000 Hz | 8 000 Hz | SIL |
|-----------------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|-----|
| Diff. D-G (dB) | 0,4 | - 0,5 | - 0,2 | - 0,2 | 0,2 | 0,0 | - 0,2 | 0,0 |
| Étendue (dB) | 3,9 | 2,3 | 2,4 | 1,5 | 1,9 | 2,2 | 4,0 | 2,0 |

Tabl. 2b : Différences droite-gauche dans le champ sonore de la parole et variations moyennes du niveau de pression sonore pour les 7 positions spatiales autour de la position d'écoute (haut-parleur S7)

Left-Right difference in the speech signal field and overall sound level range over 7 positions around the listening space (loudspeaker S7)

spatiale du champ libre généré par le haut-parleur S7 utilisé pour la parole a été vérifiée de la même manière. Les résultats sont présentés au tableau 2b.

Enfin, la diffusion du champ sonore associé au bruit a été vérifiée dans les 3 plans orthogonaux (horizontal, sagittal, interaural), à l'aide d'un microphone directionnel ayant un patron de directivité cardioïde (Sennheiser ME64). Les résultats démontrent que la variation des niveaux de pression sonore en bande d'octave est de 6 dB ou moins et respecte ainsi la tolérance prescrite par la norme ANSI [6], sauf à 2 000 Hz dans les plans sagittal et interaural. On explique ces résultats par la présence d'un niveau sonore un peu plus bas lorsque le microphone était pointé vers le plafond comparativement aux autres directions. La variation du SIL dans les trois plans était inférieure à 5 dB.

Exemple d'utilisation

La chambre acoustique versatile a été utilisée dans plusieurs projets menés au Laboratoire de recherche en audition de l'Université d'Ottawa depuis son installation. L'intérêt principal du groupe de recherche est de documenter l'effet des différents paramètres qui déterminent la reconnaissance de la parole. La figure 3 présente le modèle qui guide l'ensemble des projets de recherche du laboratoire.

Un des projets est maintenant présenté sommairement afin de démontrer l'importance de considérer l'évaluation des capacités auditives fonctionnelles, telles que la reconnaissance de la parole dans le bruit. Ce projet porte sur l'évaluation des capacités de reconnaissance de la parole dans des bruits typiques de la vie quotidienne, comme les restaurants et les véhicules routiers. Des enregistrements de ces bruits ont été reproduits dans la chambre acoustique versatile et des tests de reconnaissance de la parole ont été menés auprès d'auditeurs normaux.

Reconnaissance de la parole dans les bruits quotidiens

Au quotidien, les gens ont à composer avec de nombreuses sources de bruit. Ils mentionnent éprouver des difficultés à comprendre la parole dans différents endroits publics comme les restaurants, les cafétérias, les aéroports, les centres commerciaux, à proximité de la circu-

lation routière et à l'intérieur de véhicules. Plusieurs modèles quantitatifs ont été proposés dans le but de prédire les habiletés auditives fonctionnelles des individus [9]. La valeur prédictive de ces modèles est toutefois limitée étant donné que la majorité de ces tests utilisent uniquement des mots, ont été développés à partir d'échantillons restreints, et sont souvent présentés dans le silence. Le Hearing in Noise Test (HINT) est reconnu comme étant un des tests ayant une très bonne valeur prédictive des performances auditives dans le bruit [2]. Dans l'environnement clinique habituel, les résultats obtenus à l'aide de ce test sont applicables à un bruit à spectre de la parole. Le présent projet avait comme objectif de prédire les performances de reconnaissance de la parole pour des conditions de bruits typiques de la vie quotidienne, à partir de scores obtenus au HINT clinique.

Des enregistrements de bruits quotidiens (ex. restaurants, véhicules routiers, lieux publics) ont donc été reproduits dans la chambre acoustique versatile et des auditeurs avec audition normale ont été appelés à répéter les courtes phrases du HINT présentées à différents rapports signal sur bruit (S/B). Les résultats ont permis de calculer des pourcentages de reconnaissance de la parole pour les différents environnements. Il serait trop long d'exposer l'ensemble de la procédure expérimentale ici. Le lecteur peut trouver les détails méthodologiques de ce type d'expérimentation dans Giguère et coll. [9].

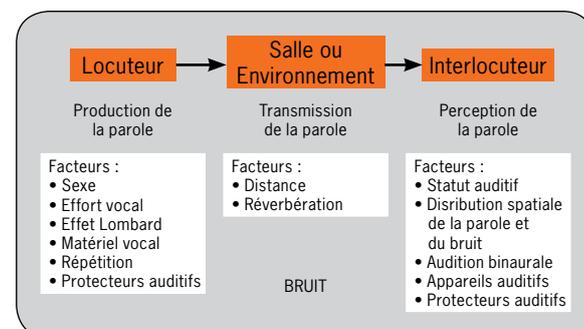


Fig. 3 : Paramètres régissant la communication verbale en milieu bruyant

Parameters involved in speech communication in noisy environments

| Distance (m) | Effort Vocal | Rép | Score composite (dB S/B) au HINT clinique Canadien-Français | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| | | | -9 | -8 | -7 | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Voix normale sans répétition | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | N | N | 100 | 99 | 99 | 98 | 98 | 96 | 95 | 93 | 90 | 86 | 82 | 76 | 70 | 64 | 57 | |
| 3 | N | N | 84 | 79 | 74 | 67 | 60 | 53 | 46 | 39 | 32 | 26 | 20 | 15 | 11 | 8 | 6 | |
| Voix élevée sans répétition | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | É | N | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 99 | 98 | 98 | 96 | 95 | |
| 3 | É | N | 99 | 99 | 98 | 97 | 96 | 94 | 91 | 88 | 84 | 79 | 74 | 67 | 60 | 53 | 46 | |
| Voix normale avec répétition | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | N | O | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 99 | 98 | 97 | 94 | 91 | 87 | 81 | |
| 3 | N | O | 97 | 96 | 93 | 89 | 84 | 78 | 71 | 62 | 54 | 45 | 36 | 28 | 21 | 15 | 11 | |
| Voix élevée avec répétition | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | É | O | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| 3 | É | O | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 99 | 97 | 96 | 93 | 89 | 84 | 78 | 71 |

*É : voix élevée (8 dB de plus que la normale)

Tabl. 3 : Pourcentage de reconnaissance de la parole dans le milieu A (restaurants/caféterias) selon le score HINT clinique d'un individu et en fonction de la distance entre locuteurs, de l'effort vocal et de la possibilité ou non de répéter la phrase

Percent correct speech recognition in noise A (restaurants/cafeeteria) as a function of an individual's clinical HINT score, the communication distance, the vocal effort and the possibility of repeating the command.

Le tableau 3 qui suit présente un exemple d'utilisation potentielle en clinique audiolinguistique, pour des bruits de restaurant. Ce tableau décrit le pourcentage de reconnaissance de la parole selon la distance, l'effort vocal déployé et la répétition de l'information. Ces chiffres ont été calculés en utilisant les données de Pearsons et coll. [10] sur le niveau sonore de la parole d'un locuteur situé à 1 mètre dans un environnement bruyant, lors d'une conversation à voix normale. Pour une conversation à voix élevée, 8 dB ont été ajoutés. L'effet de la distance au-delà de 1 mètre suppose une propagation en champ libre. Pour l'effet de répétition, on suppose que les répétitions sont indépendantes (voir Laroche et coll., [11] pour plus d'informations sur ce type de simulation).

Ainsi, par exemple, pour un individu ayant obtenu un score de +1 dB S/B au HINT clinique, on peut s'attendre aux résultats notés au tableau 3 lorsqu'il est dans un restaurant. À une distance de 3 mètres de son interlocuteur, avec aucune répétition et à voix normale, on peut s'attendre à ce qu'il comprenne environ 20% de la parole. Si on lui donne accès à la répétition, il comprendra 36% de la parole. Supposons que l'individu en question décide d'utiliser une aide auditive avec microphone directionnel. Lorsqu'on lui refait passer le HINT avec son aide, il obtient un score de -3 dB S/B. On peut voir qu'à une distance de 3 mètres dans un restaurant (à voix normale et sans répétition), notre individu percevra maintenant 46% de la parole. À une distance de 1 mètre, il passerait de 82% à 95% dans la condition de voix normale sans aucune répétition.

Dans ce projet, une mesure directe de la reconnaissance de la parole dans le bruit telle que mesurée avec le HINT clinique a été identifiée comme un outil intéressant pour prédire la capacité fonctionnelle de reconnaissance de la parole dans des situations bruyantes de la vie quotidienne. Dans un cadre clinique, cet outil devrait fournir aux audiologistes des stratégies qui permettraient d'améliorer la performance des clients et de mieux comprendre l'effet de la distance entre les locuteurs, de l'effort vocal et de la répétition de l'information sur la reconnaissance de la parole, ainsi que l'effet des aides auditives.

Conclusion

La chambre acoustique versatile de l'Unité de recherche en bruit et communication de l'Université d'Ottawa permet de mieux comprendre les difficultés de communication éprouvées par les individus affichant une atteinte auditive, en permettant un contrôle plus rigoureux des caractéristiques acoustiques du champ sonore. Cette chambre permet d'aller au-delà du simple diagnostic audiolinguistique et d'immerger les individus dans des ambiances sonores réalistes dans lesquelles ils peuvent éprouver des difficultés de communication. Le programme de recherche du laboratoire gravite autour de la chambre acoustique versatile et vise à documenter l'effet des différents paramètres (ex. effort vocal, aides auditives, protecteurs auditifs, etc.) qui régissent la communication verbale en milieu bruyant.

Références bibliographiques

- [1] Gatehouse, S., & Noble, W. (2004). The Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ). *International Journal of Audiology*, 43: 85-99.
- [2] Soli, S.D. (2008). Some thoughts on communication handicap and hearing impairment. *International Journal of Audiology*, 47: 285-286.
- [3] Nilsson, M., Soli, S.D., et Sullivan, J.A. (1994). "Development of the Hearing in Noise Test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise." *J. Acoust. Soc. Am.* 95: 1085-1099.
- [4] Vaillancourt, V., Mayer, C., Laroche, C., Basque, C., Nali, M., Eriks-Brophy, A. Soli, S., et Giguère, C. (2005) "Adaptation of the HINT (Hearing In Noise Test) for adult Canadian Francophone populations." *Int. J. of Audiology*, 44: 358-369.
- [5] International Electrotechnical Commission. Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index, IEC Standard 60268-16. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2003.
- [6] American National Standards Institute. Method for the Measurement of Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors, ANSI Standard S12.6-1997 (R2002). New York: American National Standards Institute, 1997.
- [7] Giguère, C., et Abel, S. (1990). "A multi-purpose facility for research on hearing protection," *Appl. Acoust.* 31, 295-311.
- [8] American National Standards Institute. Rating Noise with Respect to Speech Interference, ANSI Standard S3.14-1977 (R1997). New York: American National Standards Institute; 1977.
- [9] Giguère, C., Laroche, C., Soli, S.D., et Vaillancourt, V. (2008). Functionally-based screening criteria for hearing-critical jobs based on the Hearing in Noise Test. *International Journal of Audiology*, 47: 319-328
- [10] Pearsons, K.S., Bennett, R.L., et Fidell, S. (1977). Speech Levels in Various Noise Environments. EPA-600/1-77-025, US Environmental Protection Agency.
- [11] Laroche, C., Soli, S., Giguère, C., Lagacé, J., Vaillancourt, V., et Fortin, M. (2003). An Approach to the Development of Hearing Standards for Hearing-Critical jobs. *Noise & Health*, 6(21):17-37.