

Acuity Immersion avec e-STAT AI

Joyce Rosenthal and
Simon Carlile, Ph.D.

Introduction

Acuity Immersion intègre les fonctions du son qui améliorent l'audition spatiale et les rend accessibles aux utilisateurs d'aides auditives présentant une perte auditive légère à modérée. Lorsqu'ils y ont accès, ce sont précisément ces fonctions qui permettent aux auditeurs de localiser la provenance des sons et d'avoir le sentiment d'être physiquement présents, ou immergés, dans l'environnement.

Or, pour que l'immersion spatiale soit complète, il faut que le son soit façonné par le pavillon. Avec ses contours complexes, le pavillon marque de son empreinte chaque son qui entre dans l'oreille. En plus d'aider à localiser une source sonore, ces signatures acoustiques permettent à l'auditeur de percevoir la singularité de chaque espace sonore.

Qu'est-ce que l'audition spatiale ?

Localisation : différences interaurales de temps et d'intensité

Il suffit d'ouvrir un manuel sur la perception auditive pour y trouver un chapitre sur l'audition spatiale. Avant même la publication de la recherche de Lord Rayleigh dans *Philosophical Magazine* en 1907 (Rayleigh), le simple fait d'avoir deux oreilles était considéré comme important pour nous aider à localiser la source d'un son dans l'espace environnant. Les deux oreilles offrent au système auditif la possibilité de détecter simultanément un son à deux endroits distincts dans le champ sonore.

En raison de la distance qui les sépare (de part et

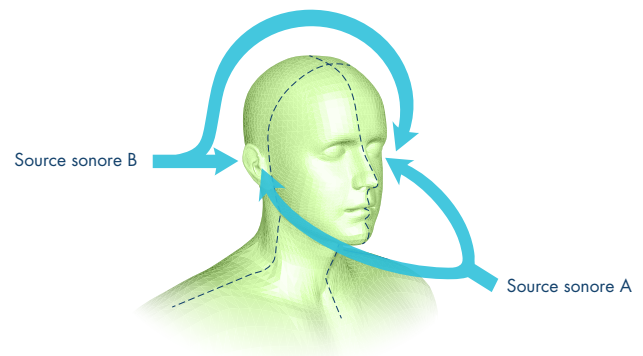


Figure 1. Un son provenant de la source A sera de même intensité et arrivera aux deux oreilles en même temps ($ITD=0$, $IDL=0$). Un son provenant de la source B sera plus fort et arrivera plus rapidement à l'oreille droite. ($ITD \neq 0$, $IDL \neq 0$).

d'autre de la tête), le son arrive en décalé dans chaque oreille. C'est ce que l'on appelle la différence interaurale de temps (ITD, de l'anglais interaural time difference). Bien sûr, lorsque la source est sur le plan médian (figure 1, source sonore A), le son parvient en même temps aux deux oreilles et l'ITD est nulle puisque la distance de la source vers chaque oreille est la même. Lorsque la source est située à l'opposé d'une oreille le long de l'axe interaural (figure 1, source sonore B), le déphasage est maximal et déterminé par le diamètre de la tête. L'ITD pour une tête adulte normale est comprise entre 600 et 700 μ s. Il faut savoir que nous sommes sensibles à des modifications de l'ITD de l'ordre de 10 μ s (Zwislocki & Feldman, 1956).

Le son perçu est également différent d'une oreille à l'autre car la tête est relativement dense par rapport à l'air. Le son est donc réfléchi et réfracté autour de la tête, ce qui en modifie l'intensité relative entre une oreille et l'autre. On parle alors de différence interaurale d'intensité ou ILD, de l'anglais interaural level difference.

Naturellement, lorsque la source sonore est sur le plan médian, les trajectoires de la source vers chaque oreille sont les mêmes et il n'y a pas d'ILD. Pour les sources sonores situées ailleurs que sur la ligne médiane, les ILD sont petites pour les sons graves et grandes pour les sons aigus. Ceci s'explique par le fait que la longueur d'onde d'un son grave est nettement supérieure aux dimensions de la tête, qui perd son efficacité de déflecteur. La tête peut bloquer plus efficacement un son aigu dont la longueur d'ondes est inférieure à ses dimensions. Les mesures acoustiques montrent que l'ILD est maximale autour de 60° de la ligne médiane frontale et non, comme on pourrait l'imaginer, sur l'axe interaural (Shaw, 1974).

Si la plus grande ILD ne se trouve pas sur l'axe interaural, c'est parce que l'oreille externe, le pavillon et la conque amplifient le son. L'axe acoustique de cet amplificateur directionnel est dirigé vers le quadrant frontal sur le même côté. Dans le même temps, la structure physique complexe du pavillon et la conque filtrent également le son en fonction de sa provenance. Quelle que soit la provenance, cela donne lieu à des variations d'intensité pour différentes fréquences de plus de 10 dB, le pattern exact de ce filtrage changeant selon la position relative de la source. Ces variations, aussi appelées indices spectraux ou monauraux de localisation, aident, comme cela a été montré, à la localisation monaurale de la source (Slattery & Middlebrooks, 1994).

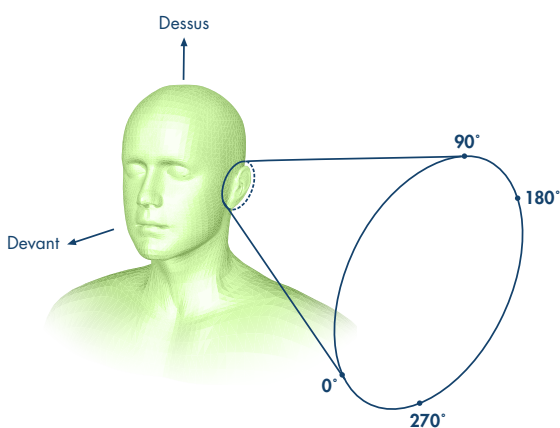


Figure 2. Le « cône de confusion ». ITD et ILD sont ambiguës pour les sources sonores situées sur la circonférence d'un cône centré sur l'axe interaural.

Localisation : le pavillon aide lorsque ILD et ITD ne le peuvent pas.

Si l'on en revient à notre manuel de base sur l'audition spatiale, les indices ILD et ITD sont souvent dits indices binauraux de localisation sonore. On attribue la première description de cette « théorie Duplex » de la localisation à Lord Rayleigh (Rayleigh, 1907). En ajoutant les indices spectraux du pavillon à la théorie Duplex, on parvient à mieux expliquer comment le système auditif résout l'ambiguïté spatiale des indices binauraux. Cette ambiguïté résulte du positionnement même des deux oreilles. Cela se comprend aisément si l'on prend le cas d'un son situé sur le plan médian directement devant l'auditeur. Comme nous l'avons déjà dit, cela aboutira à des indices ILD et ITD nuls puisque les trajectoires de la source vers l'une et l'autre oreilles sont identiques. Prenons maintenant le cas d'un son arrivant de façon directe sur le dessus de la tête et derrière la tête. En fait, tout point sur le plan médian donnera des indices ILD et ITD nuls, rendant les indices binauraux spatialement ambigus. Cette situation se généralise pour chaque intervalle binaural de sorte que, par exemple, un son situé devant à 30° sur la droite de la ligne médiane donnera la même ITD qu'un son situé à 30° de la ligne médiane arrière, de même que sur tout point inscrit dans la surface d'un cône centré sur l'axe interaural. Ce cône est souvent appelé « cône de confusion » (figure 2).

Le cône de confusion est légèrement plus compliqué pour l'indice ILD en raison de l'orientation de l'axe acoustique de l'oreille externe, mais en règle générale, il se produit la même chose. Toutefois, dans la mesure où les effets de filtrage du pavillon sur la plage fréquentielle varient avec la position de la source sonore, le pavillon peut fournir les indices essentiels requis pour résoudre les ILD ambiguës. La figure 3 (modifiée d'après Carlile, 2014) montre un exemple des effets de filtre du pavillon mesurés aux points situés sur le plan médian (de l'avant vers l'arrière). La fréquence est présentée sur l'axe des abscisses, la position sur la ligne médiane sur l'axe des ordonnées et les couleurs indiquent l'amplitude correspondante de l'effet de filtre à une coordonnée fréquence-position donnée. Les effets varient en amplitude de +12 dB (rouge foncé) à -15 dB (bleu foncé). À titre d'exemple, la flèche noire de la figure 3 désigne une région bleue, indiquant qu'à 8 kHz, lorsque la source sonore est située devant la tête, l'effet du pavillon atténue le son de 15 dB. Il convient également de noter que les effets

les plus importants (rouge et bleu clairs) surviennent entre 4 et 16 kHz. C'est la combinaison des indices binauraux précis et des indices spectraux plus grossiers du pavillon qui donne aux humains la capacité de parvenir à une localisation spatiale précise.

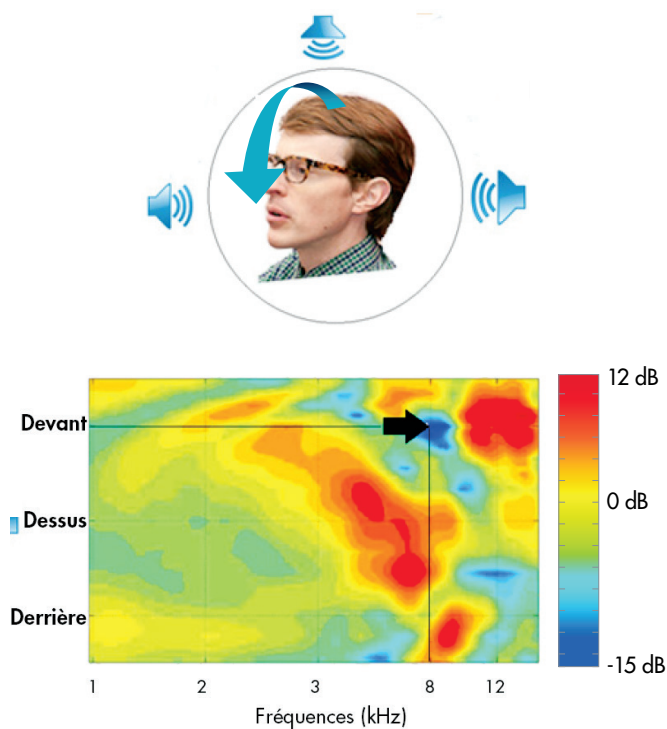


Figure 3. La variation des effets du pavillon pour une oreille est représentée comme une fonction de la position sur la ligne médiane (de l'avant vers l'arrière). Les couleurs des courbes de niveaux indiquent l'amplitude à une coordonnée fréquence (x)/position (y) donnée et s'étendent de 12 dB (rouge foncé) à -15 dB (bleu foncé). La flèche noire désigne une région bleue indiquant qu'à 8 kHz le pavillon atténue les sons venant de la ligne médiane frontale.

Audition spatiale : plus qu'une simple localisation

C'est là, généralement, que le manuel sur l'audition spatiale se termine, nous donnant l'impression que l'audition spatiale est uniquement affaire de localisation. Des recherches plus récentes éclairent cependant un autre aspect de l'audition spatiale. Des recherches essentiellement réalisées dans le domaine de la réalité virtuelle, ce qui explique pourquoi les manuels classiques sur la science de la perception n'en parlent pas. Tout indique que les indices spectraux du pavillon sont un élément très important pour générer la perception du son à l'extérieur de la tête et à distance du corps, ce que l'on appelle la sensation d'externalisation (Xie, 2013). Pour en avoir la preuve, il suffit d'écouter de la musique avec des écouteurs boutons. Lorsque le son entre dans le conduit auditif sans être filtré par le pavillon et la conque, il est perçu comme étant dans et autour de la tête. Ce qui contraste totalement avec l'écoute d'une musique qui émane de haut-parleurs et emplit la pièce. Dans ce cas, la musique est clairement perçue comme venant d'une source distante du corps. La différence entre ces deux expériences d'écoute s'explique par le filtrage de l'oreille externe. Le cerveau utilise les signatures de filtrage de l'oreille externe, ou indices spectraux, pour générer la perception externalisée.

L'externalisation produit également le sentiment de présence. La présence est souvent décrite comme la sensation d'être dans le monde. Bien sûr, la recherche en réalité virtuelle est axée sur ce qui précisément donne l'impression qu'un univers simulé est réel. Cette recherche a permis d'obtenir d'importantes données sur ce que la plupart d'entre nous tient pour acquis : notre sentiment de présence. Il s'avère que l'un des plus puissants moteurs du sentiment de présence dans un monde virtuel est le rendu du son 3D avec lequel l'auditeur peut interagir de manière naturelle. Par exemple, si l'on écoute une source sonore stationnaire dans un environnement virtuel alors que la tête bouge, la source doit donner l'impression de se déplacer pour maintenir sa position par rapport à la tête. Cela ne se produit généralement pas lorsque l'on écoute un son via un casque puisque la référence directionnelle est l'oreille. Dans ce cas, la source sonore se déplace avec les oreilles/la tête et n'est plus perçue comme étant stationnaire dans le monde externe.

Pour en revenir à notre exemple de musique écoutée à l'aide de haut-parleurs, la même musique sera perçue différemment selon la pièce ou salle dans laquelle elle est jouée. L'auditeur percevra le son de l'espace comme étant faible ou important, réverbéré ou anéchoïde. L'acoustique unique de chaque espace est à l'origine de notre sens de l'espace. Ce sens de l'espace non seulement confère un contexte environnemental au son mais favorise aussi la force émotionnelle des sons que nous entendons. Les architectes le savent depuis des siècles. Certains espaces imposants, comme les cathédrales et salles de concert, ont tiré profit d'effets acoustiques spécifiques pour faire naître ceux de l'émotion. Par leur conception, certaines salles de concert, comme Carnegie Hall, y parviennent mieux que d'autres.

Audition spatiale et perte auditive

D'après ce que nous avons appris précédemment sur la contribution du pavillon à l'audition spatiale, on peut raisonnablement prédire que la perte auditive affecte de manière significative l'audition spatiale de l'auditeur. De nombreuses recherches montrent que la déficience auditive dégrade la faculté de localisation (Akeroyd & Whitmer, 2011). La perte auditive dans les fréquences hautes réduit la largeur de bande des indices spectraux de l'oreille externe. Ce qui, à son tour, diminue la capacité du cerveau à résoudre les indices de localisation par ailleurs ambigus. Nous observons cela en laboratoire où, en l'absence d'indices visuels, les auditeurs malentendants commettent plus d'erreurs avant-arrière pour localiser un son (Akeroyd & Whitmer, 2011 ; Best et al., 2010). D'après les résultats de la recherche en réalité virtuelle, une réduction de la fidélité et de la largeur de bande des indices spectraux semble également avoir une incidence sur le sentiment d'externalisation. Bien que peu de recherches aient été menées dans ce domaine, il a été montré que les auditeurs malentendants évaluaient l'externalisation et la distance des sources sonores très différemment des auditeurs normo-entendants (Boyd, Whitmer, Soraghan, & Akeroyd, 2012).

Acuity Immersion avec e-STAT AI

Que se passe-t-il lorsqu'une information perdue en raison d'une déficience auditive est réintroduite ?

Le sentiment de présence et d'immersion peut-il être restauré ? Les indices spectraux pour l'audition spatiale qui sont diminués par la perte auditive peuvent à nouveau être accessibles en 1) augmentant la largeur de bande par amplification, 2) en « transposant » les indices vers une autre zone de fréquences où l'audition est meilleure ou 3) comme le fait Acuity Immersion, en mettant en œuvre ces deux options.

Acuity Immersion de Starkey, avec la règle d'appareillage e-STAT AI, est conçue pour offrir à ceux qui présentent une perte auditive légère à modérée dans les hautes fréquences une « sensation de présence » améliorée. La fonction est spécifique aux CIC et IIC. En substance, Acuity Immersion avec e-STAT AI prend les indices spectraux situés entre 4 et 10 kHz et les compresse entre 4 et 7 kHz pour les rendre audibles. Contrairement aux autres algorithmes de compression des fréquences, conçus pour améliorer les indices vocaux, Acuity Immersion cible clairement les indices spectraux et ne modifie guère les sons vocaux.

Sur une période de quelques semaines, le cerveau est en mesure d'utiliser ces indices spectraux nouvellement accessibles pour réapprendre la relation entre son et espace et, au final, restaurer le sentiment naturel de présence de l'utilisateur. Tandis que la recherche sur les mécanismes sous-jacents du « remodelage » et du recalibrage spatiaux se poursuit (Majdak, Walder & Laback, 2013), il est clair d'après les réponses comportementales que le réapprentissage est réel (Mendonca, 2014).

La fonction Acuity Immersion doit aussi son efficacité au fait qu'elle n'est proposée que sur les intra-auriculaires profonds. Comme le microphone d'un intra semi-profond (CIC) ou d'un intra-profond (IIC) se situe dans le conduit auditif, les indices naturels du pavillon du patient demeurent intacts pour tous les signaux qui entrent dans l'aide auditive. À l'inverse, le microphone d'un contour d'oreille (BTE)/contour à écouteur dans le conduit (RIC) se situe derrière le pavillon, de sorte que le son qui entre dans l'aide auditive n'a absolument pas bénéficié du modelage spectral du pavillon.

En conséquence, les algorithmes d'audition spatiale utilisés dans les BTE et RIC ont pour mission impossible de simuler les indices spatiaux.

Au mieux, ces algorithmes parviennent à partiellement restaurer les indices naturels du pavillon en utilisant les microphones directionnels pour imiter un pattern de directivité naturelle de l'oreille externe (Boyd, Whitmer, Soraghan & Akeroyd, 2012), dont la correspondance aux oreilles de l'auditeur n'est pas garantie.

L'objectif d'Acuity Immersion est d'optimiser la résolution spectrale et l'audibilité pour permettre au patient d'accéder au plus grand nombre possible d'indices spatiaux. Elle le fait tout d'abord en divisant le signal supérieur à 4 kHz en bandes de fréquences très étroites. Lorsque les bandes sont compressées, un grand nombre de pics spectraux cruciaux demeurent intacts. Enfin, lorsque le signal entre dans le compresseur et le gain est appliqué, une stimulation compensatoire est appliquée aux canaux dans lesquels de nouvelles informations spectrales sont devenues disponibles. Ceci est expliqué plus en détail dans la section suivante consacrée à e-STAT AI.

e-STAT AI

e-STAT AI et e-STAT sont les règles d'appareillage exclusives de Starkey. e-STAT utilise NAL-NL1 comme point de départ, avec des modifications dérivées empiriquement sur la base des préférences de gain du patient (Scheller & Rosenthal, 2012).

e-STAT AI est la règle d'appareillage qu'il est recommandé d'utiliser avec Acuity Immersion. Elle est basée sur la règle d'appareillage NAL-NL2 et modifiée pour donner aux indices de pavillon plus faibles l'augmentation de gain requise pour maintenir la sortie prescrite de 4 à 7 kHz.

Comme e-STAT, e-STAT AI inclut l'algorithme MVI (minimisation de l'interaction entre événement et aide auditive), conçu pour prévenir les interactions entre la sortie de l'aide auditive et le son direct à travers l'événement, qui peuvent se traduire par une piètre qualité sonore. E-STAT AI prescrit plus de gain que e-STAT au-dessus de 4 kHz, zone fréquentielle cruciale pour les indices du pavillon.

La figure 4 montre une comparaison des cibles e-STAT AI et NAL-NL2. À noter que les cibles sont identiques d'un point de vue sortie (mode SPL oreille réelle, volet de gauche) mais que e-STAT AI donne

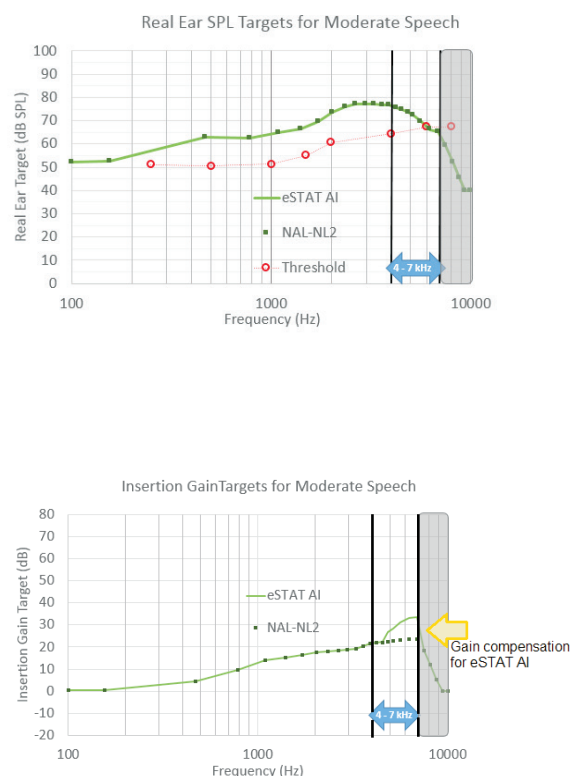


Figure 4. Les cibles e-STAT AI et NAL-NL2 sont les mêmes en SPL oreille réelle (volet de gauche). Pour obtenir la même sortie, plus de gain est nécessaire pour e-STAT AI. Cela se voit dans le volet de droite. Le gain additionnel est nécessaire pour compenser la baisse du niveau d'entrée compresseur lorsque Acuity Immersion est activée.

plus de gain que NAL-NL2 au-dessus de 4 kHz (mode gain d'insertion, volet de droite). Le gain est augmenté pour compenser la diminution du niveau d'entrée compresseur qui survient entre 4 et 7 kHz lorsque Acuity Immersion est activée. L'augmentation est suffisante pour que, pour une entrée façonnée par la parole, sortie e-STAT AI et sortie NAL-NL2 soient égales. Il est important de noter que lorsque Acuity Immersion est activée, le gain supplémentaire appliqué par e-STAT AI n'augmente pas le risque de larsens ! Le contenu fréquences modifié de la sortie de 4 à 7 kHz détruit sa corrélation à l'entrée, rendant ainsi l'aide auditive hautement résistante à tout larsen au-dessus de 4 kHz.

Éligibilité : qui peut tirer profit de Acuity Immersion avec e-STAT AI ?

Si Starkey continue de recommander e-STAT comme point de départ pour une nouvelle adaptation, une exception est faite pour les patients dont les seuils laissent sous-entendre que la fonction Acuity Immersion peut leur être bénéfique. Il s'agit de patients présentant une perte auditive dans les hautes fréquences légère à modérée qui ont de bons résultats avec la parole amplifiée mais peuvent avoir un sentiment de présence amoindri et des difficultés à distinguer les sources sonores dans les environnements d'écoute complexes. Pour cette population ciblée, il s'est avéré que le gain additionnel apporté par e-STAT AI ne changeait pas les évaluations de préférences générales en matière de qualité sonore par rapport à e-STAT.

Avec l'introduction d'Acuity Immersion, deux fonctions conçues pour rendre audibles les indices spectraux dans les hautes fréquences sont désormais proposées sur les modèles CIC et IIC : Acuity Immersion et Speech Shift. L'éligibilité pour chaque fonction dépend de l'audiogramme, la principale différence dans les critères étant le seuil du patient à 8 kHz. En règle générale, les patients dont les seuils sont supérieurs à 65 dB HL à 8 kHz sont considérés comme des candidats à Acuity Immersion. Les candidats à Speech Shift ont une perte auditive plus prononcée et plus de difficultés à comprendre la parole. Avec un tel degré de perte auditive, la nécessité d'une meilleure compréhension de la parole prend le pas sur la sensation de présence. Les critères audiométriques pour ces deux fonctions s'excluent mutuellement, une seule (voire aucune) fonction sera automatiquement activée par Inspire.

En résumé

Acuity Immersion avec e-STAT AI maximise la présence des indices naturels du pavillon au niveau du microphone d'un CIC ou d'un IIC pour améliorer la sensation d'immersion pour ceux qui présentent une perte auditive dans les hautes fréquences légère à modérée. Elle y parvient en :

1. augmentant la largeur de bande pour une meilleure audibilité dans les hautes fréquences,
2. compressant les indices spectraux hautes fréquences d'une manière qui n'altère pas la qualité de la parole, et
3. dynamisant le gain pour compenser ce qui serait autrement une baisse en sortie avec la compression de fréquences.

Acuity Immersion est conçue pour renforcer le sentiment de présence du patient, la sensation d'être dans le monde. Préservation de l'entrée naturelle, gain suffisant pour l'audibilité, interférence minimale avec la parole et critères d'éligibilité appropriés font d'Acuity Immersion avec e-STAT AI la fonction au rendu sonore le plus naturel qui soit.

Références

- Akeroyd, M. A., & Whitmer, W. M. (2011). Spatial hearing and hearing aids. *ENT & Audiology News*, 20, 76.
- Best, V., Kalluri, S., McLachlan, S., Valentine, S., Edwards, B., & Carlile, S. (2010). A comparison of CIC and BTE hearing aids for three-dimensional localization of speech. *International Journal of Audiology*, 49, 723-32.
- Boyd, A. W., Whitmer, W. M., Soraghan, J. J., & Akeroyd, M. A. (2012). Auditory externalization in hearing-impaired listeners: The effect of pinna cues and number of talkers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131, EL268-EL74.
- Carlile, S. (2014). The plastic ear and perceptual relearning in auditory spatial perception. *Frontiers in Neuroscience*, 8, 237.
- Majdak, P., Walder, T., & Laback, B. (2013). Effect of long-term training on sound localization performance with spectrally warped and band-limited head-related transfer functions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 134, 2148-2159.
- Mendonca, C. (2014). A review on auditory space adaptations to altered head-related cues. *Frontiers in Neuroscience*, 8, 219.
- Rayleigh, L. (1907). On our perception of sound direction. *Philosophical Magazine*, 13, 214-32.
- Scheller, T., & Rosenthal, J. (2012). e-STAT fitting formula: The rationale behind the rationale. *Innovations*, 2, 41-45.
- Shaw, E. A. G. (1974). The external ear. In W.D. Keidel & W.D. Neff (Eds.), *Handbook of Sensory Physiology: Auditory System*. (pp. 455-90). Berlin: Springer-Verlag.
- Slattery, W. H., & Middlebrooks, J. C. (1994). Monaural sound localization: acute versus chronic unilateral impairment. *Hearing Research*, 75, 38-46.
- Xie, B. (2013). *Head-related transfer function and virtual auditory display*. Plantation, FL: J. Ross Publishing.
- Zwislocki, J., & Feldman, R. S. (1956). Just noticeable differences in dichotic phase. *Journal of the Acoustical Society of America*, 28, 860-864.



Starkey.fr
@StarkeyFrance
facebook.com/starkeyfrancepro

