

Amélioration de la précision de localisation et de l'écoute naturelle grâce à la fonction Spatial Awareness

Même si vous n'y prêtez probablement même pas attention, vos facultés de localisation facilitent les tâches du quotidien, par exemple lorsque vous cherchez votre téléphone afin de répondre à un appel ou lorsque vous vous concentrez sur un locuteur! Votre cerveau localise la provenance des sons au moyen d'indices spatiaux, à savoir le moment auquel ils parviennent à chaque oreille, leur niveau de puissance à chaque oreille et la forme de fréquence. Ce dernier indice dépend fortement de l'anatomie personnelle et votre cerveau est habitué à entendre les sons via la géométrie unique de vos oreilles.

À la lumière de ces informations, il n'y a rien d'étonnant à ce que les aides auditives altèrent la localisation. Tandis qu'elles amplifient suffisamment les sons pour les rendre audibles, elles interfèrent également avec les indices de fréquences sur lesquels notre cerveau se base. Les réponses directionnelles peuvent apporter une aide ou au contraire dénaturer encore davantage ces indices. À cela s'ajoute la question de la meilleure stratégie de microphone à adopter : un faisceau resserré et ciblé, un faisceau omnidirectionnel ou une solution totalement différente ?

Ce document s'attache à présenter le rapport étroit entre la forme de l'oreille et la localisation, ainsi qu'à présenter les possibilités d'améliorer la satisfaction du patient en se focalisant sur les éléments naturels et en offrant une expérience sonore réaliste.

Auteurs

Betty Rule, Hon. B.Sc. Physique expérimentale
Directrice produits
Son préféré : le rire d'un proche

Nancy Bunston, M.Cl.Sc., Reg. CASLPO
Audiologiste interne
Son préféré : le bruit du ressac

Carolina Rubiano Galvis
Spécialiste de la validation
Son préféré : le battement du cœur

Jesse Sinclair, MClSc, Aud(C)
Audiologiste interne
Son préféré : le rire de mes enfants

Leonard Cornelisse, M.Sc.
Expert en science de l'audition ; Directeur de l'ingénierie des systèmes d'audition
Son préféré : un morceau de jazz

Comment fonctionne la localisation ?

Il y a très longtemps (en 1907) que des chercheurs ont découvert le rôle majeur joué par les différences interaurales de temps (ITD) et les différences interaurales de niveau sonore (ILD) dans la localisation des sons.² Mais ce n'est que bien plus tard que nous avons compris l'importance de la forme spécifique de nos oreilles. Edgar Shaw fut l'un des premiers à analyser attentivement l'effet de l'angle d'incidence sur les sons que nous entendons (voir la Figure 1). Lorsqu'un son atteint nos tympans, sa forme de fréquence diffère selon sa provenance par rapport à nous.³ La Figure 2 développe les recherches d'Edgar Shaw sur l'angle d'incidence pour illustrer comment des oreilles sans aide auditive réagissent aux sons provenant de 360 degrés. Elle montre que l'oreille droite se focalise sur les sons provenant de la zone avant droite, tandis que l'oreille gauche cible la zone avant gauche. Elles produisent ainsi de concert des informations interaurales de fréquence qui nous aident à localiser la provenance des sons. Une fois combinées, les différences interaurales de temps, les différences interaurales de niveau sonore et la forme de fréquence nous procurent une perception globale de notre environnement et nous aident à déceler l'origine des sons.

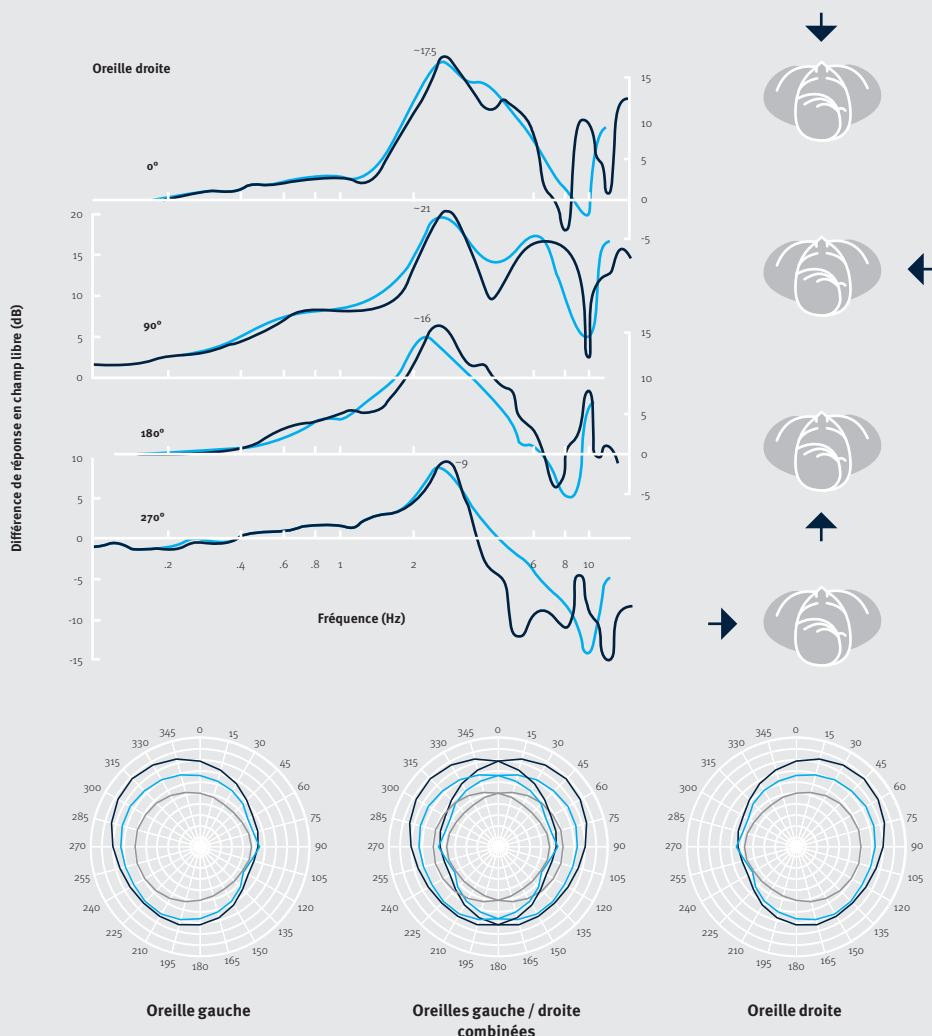


Figure 1 – Edgar Shaw fut l'un des premiers à mettre en évidence l'impact significatif de l'angle d'incidence sur la forme de fréquence des sons. Ces graphiques illustrent la différence notable que peut induire la localisation sur la détection des sons par l'oreille droite.

■ Réponse pour un mannequin KEMAR
■ Données de Shaw

Figure 2 – Indices de directivité pour les deux oreilles. En combinant les informations reçues des deux oreilles, le cerveau bénéficie d'une meilleure perception de l'environnement global.

■ Hautes fréquences
■ Moyennes fréquences
■ Basses fréquences

L'importance de la forme de l'oreille

Nos oreilles sont conçues pour nous aider à identifier la provenance des sons. Edgar Shaw joua également un rôle de pionnier en identifiant la relation entre nos caractéristiques physiques et leur influence sur les sons que nous entendons à différentes fréquences et selon différents angles. Ses recherches fondamentales ont révélé que la tête, le buste et le cou, le pavillon, la conque, le conduit auditif et le tympan jouent un rôle significatif sur la forme prise par les sons que nous entendons.⁴

La Figure 3 montre que le conduit auditif et le tympan sont à l'origine du premier pic principal de la réponse naturelle. Le conduit auditif est un tube constitué de parois souples et fermé par des tissus mous (le tympan). Cette forme confère au conduit auditif type une fréquence de résonance de 2,5 kHz environ. Cependant, la forme du conduit auditif n'est pas la même pour tout le monde. Un tube plus court génère un son plus aigu, qui se traduit par une fréquence de résonance plus élevée. Généralement, les personnes possédant des conduits auditifs plus courts ont tendance à présenter un REUG (Real-Ear Unaided Gain, Gain naturel de l'oreille réelle) avec un pic plus élevé. Au contraire, un conduit auditif plus long produit un pic de résonance plus bas.

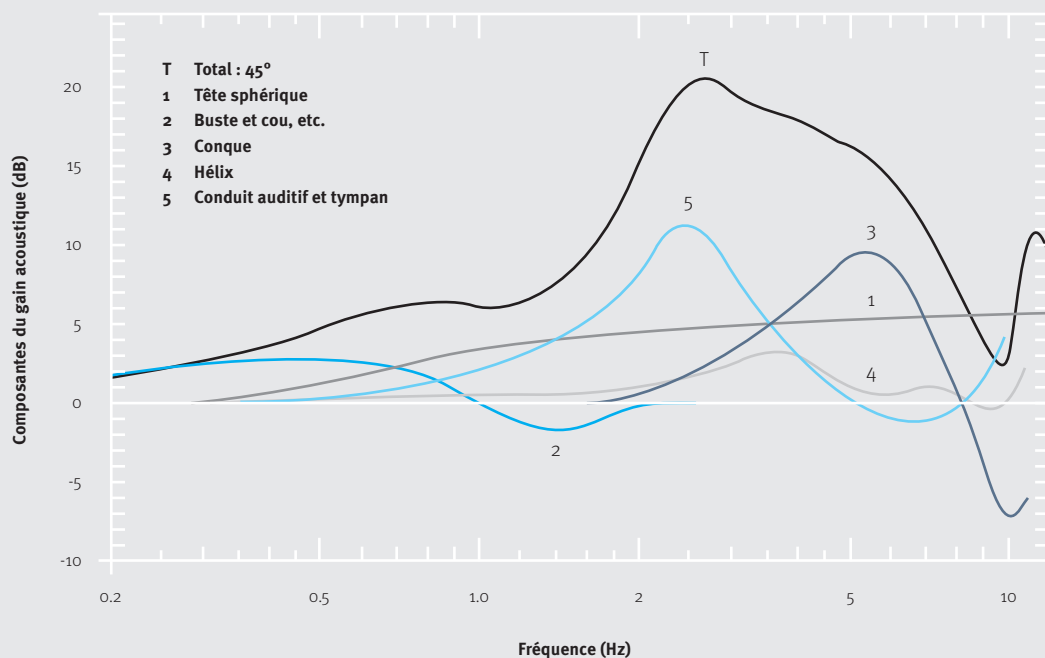


Figure 3 – Edgar Shaw a démontré l'effet de différents aspects de l'anatomie humaine sur les sons parvenant jusqu'au tympan. Ce graphique montre l'impact des sons approchant de la tête selon un angle de 45 degrés sur le plan horizontal.

Puisque la morphologie des oreilles de chaque individu est unique, nous sommes tous habitués à évaluer les sons en fonction de leur réponse en fréquence spécifique. Si nous utilisons les oreilles d'une autre personne, notre capacité à localiser les sons en serait altérée. Utiliser les oreilles de quelqu'un d'autre représente bien entendu un concept loufoque. Mais celui-ci permet pourtant d'établir une comparaison fidèle avec la situation des utilisateurs d'aides auditives et met en lumière une difficulté à laquelle les microphones directionnels classiques n'apportent pas de réponse lorsqu'ils sont utilisés seuls.

Le défi inhérent aux aides auditives et à la forme de l'oreille

En raison du positionnement des microphones des aides auditives, la forme de l'oreille n'exerce plus aucune influence sur le processus de localisation. Les contours d'oreille (BTE et RIC) représentent le pire des cas, car les sons sont alors captés depuis l'arrière du pavillon et non plus au niveau du tympan. De ce fait, la forme de fréquence des sons diffère de celle que le patient était habitué à percevoir (voir la Figure 4). Une perception inexacte de la forme de fréquence d'un son peut se traduire par une perception erronée de sa provenance. Le patient peut ainsi avoir l'impression que les sons se confondent, au lieu d'avoir une origine spécifique, ou même qu'ils proviennent de l'intérieur de sa tête. Il s'agit dans les deux cas d'une expérience peu naturelle et perturbante.

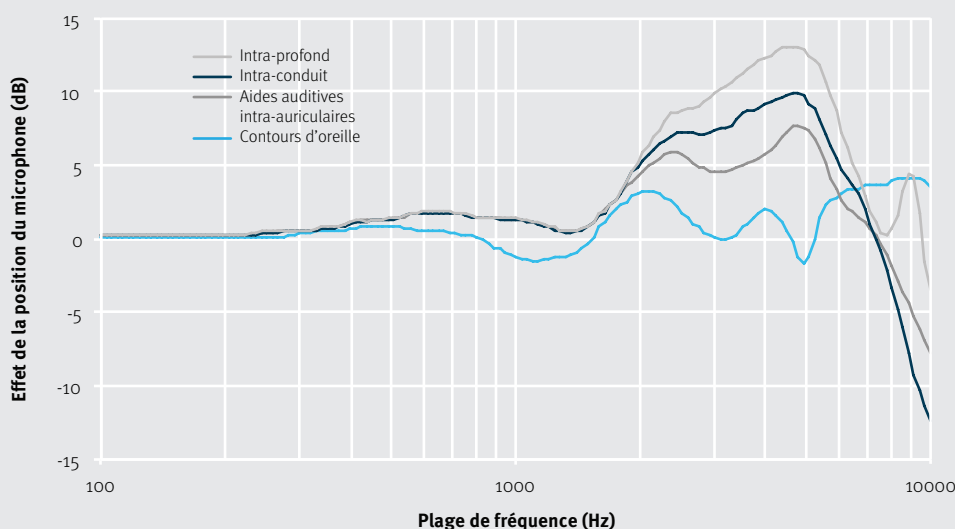


Figure 4 – La mesure de l'effet de la position du microphone (MLE, microphone location effect) pour quatre styles d'aides auditives montre les différences notables induites par le positionnement du microphone. Dans les basses fréquences, les réponses des aides auditives sont très similaires à celles des sons captés au niveau du tympan. Ce constat tient au fait que l'impact le plus important sur les sons basses fréquences est généré par la tête, et non par le pavillon. Le positionnement de l'oreille est en revanche beaucoup plus important concernant les sons hautes fréquences. Pour ceux-ci, la forme et les réflexions du pavillon et du conduit auditif jouent en effet un rôle crucial dans la transmission d'indices de localisation.

Repousser les limites des microphones directionnels

Chez Unitron, nous avons à cœur de développer des technologies qui aident les patients à résoudre leurs principales difficultés. Et la localisation de la provenance des sons figure parmi celles-ci. C'est pourquoi notre approche va bien au-delà des microphones directionnels classiques. Notre plateforme Tempus™ intègre plusieurs technologies qui facilitent la localisation du son, pour une expérience d'écoute plus naturelle et réaliste.

Effet Pavillon

Pour rendre l'expérience d'écoute plus naturelle et réaliste, les aides auditives Unitron utilisent une réponse directionnelle modérée, nommée Effet Pavillon, pour imiter l'effet d'un pavillon non pourvu d'une aide auditive. Selon la fréquence, la fonction Effet Pavillon délivre une réponse directionnelle différente. Celle-ci est davantage omnidirectionnelle dans les fréquences basses, la tête exerçant la plus grande influence sur ces grandes longueurs d'onde. Elle augmente progressivement pour atteindre une directivité proche du modèle cardioïde dans les plus hautes fréquences. Lorsque la fonction Effet Pavillon a été introduite, des patients ayant participé à des essais en situation réelle l'ont jugée « plus naturelle » que l'option omnidirectionnelle plus basique utilisée sur les plateformes précédentes⁵. Cette avancée a marqué le début d'une approche axée sur une expérience sonore plus réaliste.

Spatial Awareness

Même si la fonction Effet Pavillon a permis d'offrir aux patients une expérience d'écoute plus naturelle, nous savions que celle-ci pouvait être plus précise. Les légères différences qui subsistaient entre la fonction Effet Pavillon et l'oreille sans aide auditive pouvaient toujours affecter la capacité des patients à localiser les sons. Afin d'améliorer encore davantage la satisfaction de ces derniers, nous avons étudié dans quelle mesure les différences concernant la forme du pavillon de chaque individu altéraient la faculté de localisation des sons. Reportez-vous à la Figure 5 pour consulter un aperçu des résultats obtenus.

La majorité (environ 80 %) des pavillons des sujets adultes correspondaient assez fidèlement aux oreilles d'un mannequin KEMAR adulte. Nous savions que si une aide auditive pouvait imiter précisément la forme d'un mannequin KEMAR, elle produirait une réponse plus réaliste pour la plupart des patients, ce qui améliorerait considérablement la localisation.

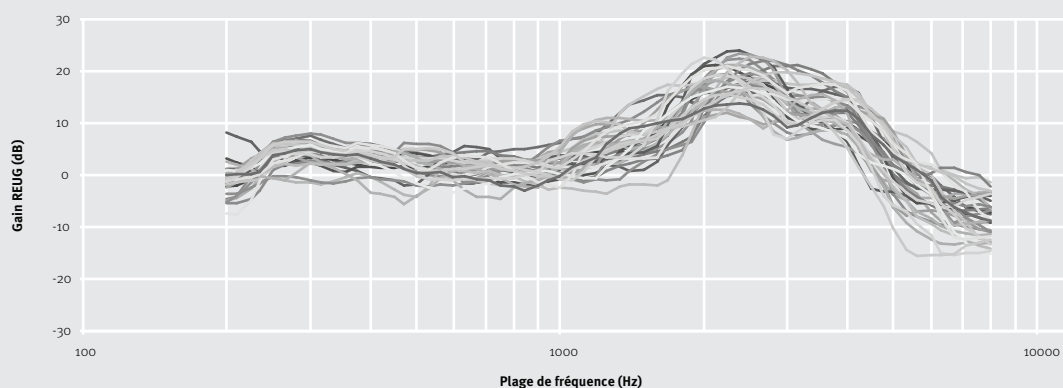


Figure 5 – Exemple des mesures de REUG réalisées sur les oreilles de 32 adultes, qui ont été utilisées pour analyser l'effet des variations de la forme du pavillon sur les sons atteignant le tympan. Les mesures pour les oreilles de mannequins KEMAR étaient principalement fondées sur la moyenne établie par Burkhard et Sachs pour 12 hommes et 12 femmes⁶, en y intégrant également des données issues des mesures de Henry Dreyfuss.⁷

Ces recherches nous ont conduits à développer notre fonction Spatial Awareness. Les aides auditives qui reposent sur la plateforme Tempus utilisent un processeur directionnel à 33 canaux afin de mieux reproduire la réponse en fréquence naturelle de l'oreille d'un mannequin KEMAR adulte pour les sons provenant de 360 degrés. La réponse directionnelle ultra-détaillée varie selon les fréquences. Comme la fonction Effet Pavillon, la fonction Spatial Awareness est omnidirectionnelle dans les basses fréquences. Toutefois, à mesure que la fréquence augmente, la réponse évolue pour les oreilles droite et gauche afin de reproduire la direction de focalisation du mannequin KEMAR. En faisant correspondre la fonction Spatial Awareness aux oreilles d'un mannequin KEMAR, nous sommes en mesure d'imiter fidèlement les réponses naturelles du pavillon de la plupart des adultes.

Pour vérifier la validité de cette concordance, 38 patients ont fait l'objet d'essais en situation réelle au cours desquels ils ont réalisé des exercices de localisation afin de tester la fonction Spatial Awareness.⁸ Les sujets de cette étude étaient âgés de 32 à 87 ans, avec un âge moyen de 66 ans, et présentaient une perte auditive binaurale de perception légère à modérée. Ils ont été appareillés avec des aides auditives Tempus (24 avaient déjà utilisé des aides auditives et 14 n'en avaient jamais essayé). Les essais ont été réalisés dans une cabine acoustique, au moyen de 4 enceintes espacées régulièrement selon un angle de 90 degrés. Des paroles cibles étaient émises de façon aléatoire par un locuteur à un azimut de 0, 90, 180 ou 270 degrés, dans un environnement calme et sans aucun indice visuel. Après chaque présentation, les sujets étaient invités à évaluer leur perception de la provenance de la parole, ainsi que le caractère naturel de celle-ci.

Une réponse était considérée comme correcte si la perception de l'origine de la parole était exacte et si le sujet n'avait pas l'impression qu'elle provenait de l'intérieur de sa tête. Les sujets ont montré une certaine confusion entre l'avant et l'arrière à l'occasion du premier appareillage. Les résultats se sont cependant améliorés après trois semaines d'adaptation (voir la Figure 6) et ont été supérieurs à d'autres résultats relevés dans des études publiées.⁹ Ces conclusions ont confirmé les espoirs que nous plaçons dans la fonction Spatial Awareness : la majorité des sujets étaient en mesure de localiser assez bien la provenance des sons, comme l'illustre le Tableau 1, et ont montré une perception améliorée de leur environnement (voir la Figure 7).

Tableau 1 – Pourcentages de réponses correctes avec la fonction Spatial Awareness

	Premier appareillage	Après 3 semaines
Avant	70 %	81 %
Arrière	56 %	68 %
Gauche	86 %	86 %
Droite	83 %	90 %

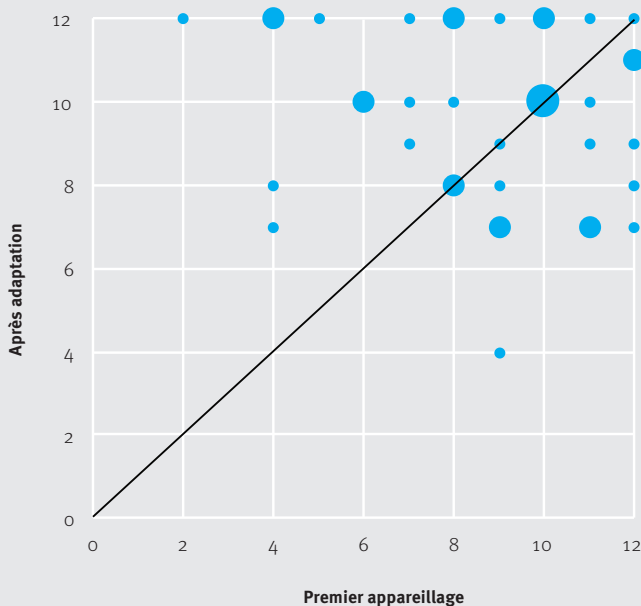


Figure 6 – Amélioration de la localisation dans le calme à l'occasion de 12 exercices aléatoires de localisation (4 depuis l'avant, 4 depuis l'arrière, 2 depuis la droite et 2 depuis la gauche). Ce graphique compare la capacité de chaque sujet à identifier correctement la provenance des sons au cours de chaque session. Six sujets ont obtenu un score parfait à l'occasion du premier appareillage. Ce chiffre est passé à 12 scores parfaits après une période d'adaptation.⁸

- 1 sujet
- 2 sujets
- 3 sujets

Nombre total de sujets = 38

Après chaque test, les sujets étaient invités à évaluer le caractère naturel du son. Une fois encore, les résultats ont confirmé les promesses de la fonction Spatial Awareness : 34 % des sujets se sont déclarés d'accord et 66 % totalement d'accord avec le fait que le son était naturel. Ces réponses ont été similaires pour chacune des quatre directions cibles.⁸ Les sujets ont non seulement amélioré leurs capacités de localisation, mais ont également estimé que la qualité sonore était naturelle.

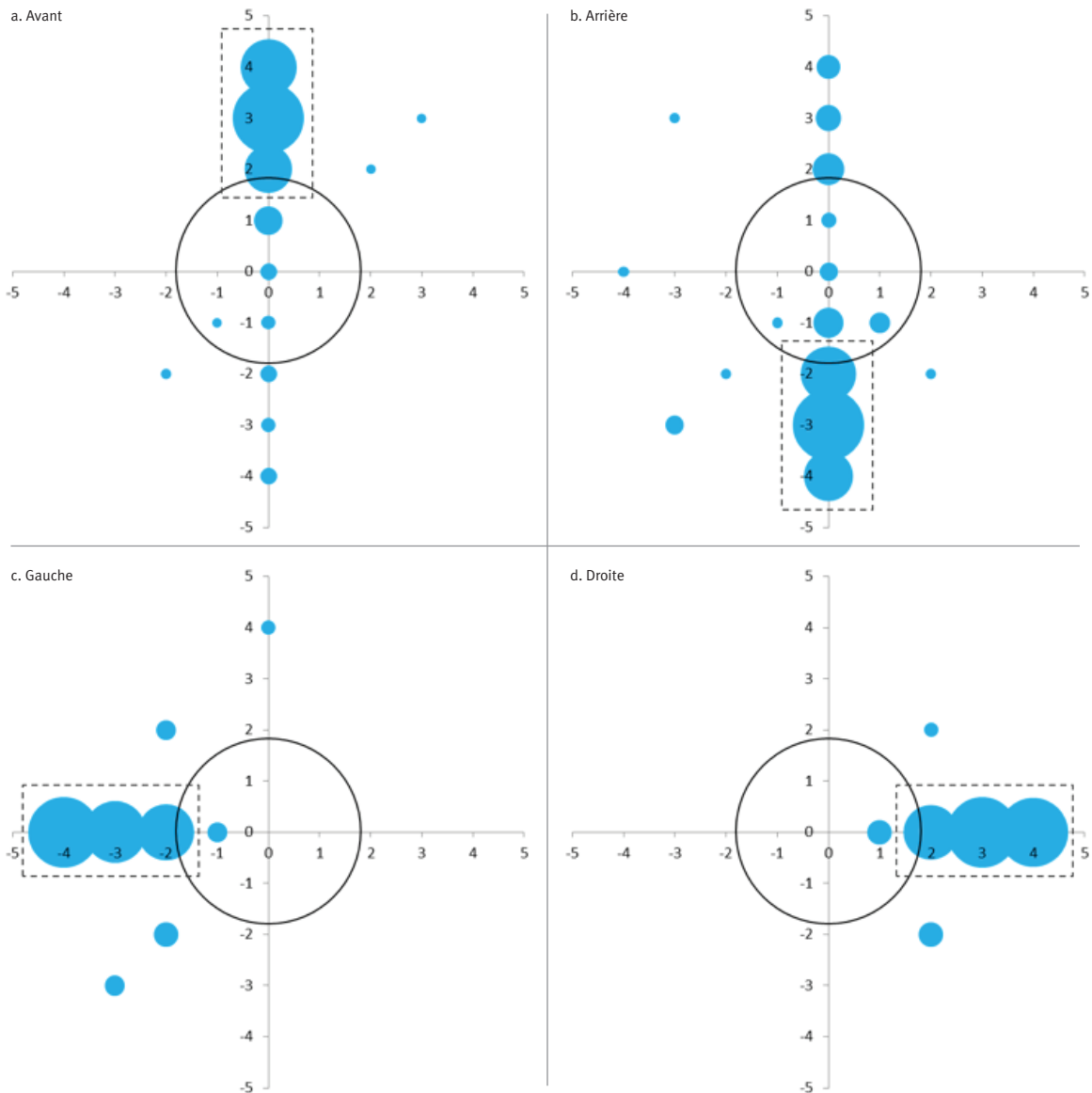


Figure 7 – Capacité des sujets à identifier correctement l'origine de la parole à l'occasion du premier appareillage et après une période d'adaptation. Les cercles de grande taille indiquent un nombre plus élevé de réponses pour cette localisation. Les réponses apparaissant à l'intérieur du cercle noir correspondent aux paroles perçues comme provenant de l'intérieur de la tête. Les réponses apparaissant à l'intérieur des pointillés ont été considérées comme étant correctes et représentent la majorité des réponses données à l'occasion des tests.⁸

Spatial Awareness personnalisé

Nos essais ont confirmé que la fonction Spatial Awareness améliore incontestablement la capacité de localisation chez les adultes. Mais nous pouvons faire encore mieux, en proposant une solution plus précise pour les patients dont les oreilles présentent une géométrie différente de celle d'un mannequin KEMAR.



Figure 8 – Mesures de réponses en gain REUG présentant des pics de conduit auditif moyen, inférieur et supérieur dans la réponse en fréquence. La courbe noire représente le REUG moyen. Les courbes bleues illustrent des exemples de sujets présentant un REUG inférieur ou supérieur à la moyenne.

Afin de déterminer les fréquences les plus appropriées pour personnaliser la fonction Spatial Awareness, nous avons utilisé les mesures de REUG relevées sur 32 oreilles (voir la Figure 8). Ces mesures se répartissent dans trois catégories : celles correspondant au REUG moyen d'un mannequin KEMAR (environ 80 %), celles présentant des pics inférieurs à la moyenne et celles avec des pics supérieurs à la moyenne. Pour mieux personnaliser cette fonction, des données supplémentaires ont été recueillies pour les deux catégories ne correspondant pas au mannequin KEMAR.

À l'aide de ces données, deux réglages Spatial Awareness personnalisé ont été créés pour les oreilles de forme différente. Si le conduit auditif d'un patient est plus long ou plus court que la moyenne, ces options peuvent améliorer la précision de la localisation et offrir une expérience plus naturelle.

Tenons compte de la forme de l'oreille dans le processus de localisation

Notre cerveau se base sur la forme spécifique de nos oreilles pour localiser les sons via les informations de réponse en fréquence. Jusqu'à présent, les aides auditives ne prenaient pas totalement en compte cet aspect de la localisation. En réalité, leur positionnement et les stratégies classiques de microphone altèrent la capacité d'un patient à localiser la provenance des sons et à percevoir leur environnement, offrant une expérience peu naturelle et perturbante.

À l'issue de recherches et d'essais approfondis, nos toutes dernières technologies facilitent le processus de localisation. En reconnaissant la nature personnelle de la localisation, nous avons initié un tournant dans le domaine des technologies auditives pour offrir une expérience d'écoute encore meilleure et plus réaliste.

Pendant de nombreuses années, ces solutions nous étaient inaccessibles. Ce temps est révolu.

Grâce à sa fonction de perception spatiale Spatial Awareness, qui repose sur la plateforme Tempus, Unitron a réalisé d'importants progrès technologiques en matière de localisation. Contactez votre représentant pour découvrir comment Tempus change la donne concernant la localisation.

1. Byrne, Denis. & Noble, William. (1998). « Optimizing Sound Localization with Hearing Aids. » Trends in Amplification 3.2, 51-73. PMC. Web. 13 avril 2017.
2. Strutt, J.W. (1907). On our perception of sound direction. Philosophical Magazine, 13, 214-232.
3. Shaw, E.A.G. (1974). Transformation of Sound Pressure from the Free Field to the Eardrum in the Horizontal Plane. Journal of Acoustical Society of America, 56. 1848-61.
4. Shaw, E.A.G. (1974). « The external ear. » Auditory System: Handbook of Sensory Physiology. Keidel, W.D. & Neff, W.D. (Eds.). Berlin: Springer-Verlag.
5. Stephenson, B. & Hayes, D. (juin 2011). Era Field Trial Report 10 KFT-005, Internal communication.
6. Burkhard, M.D. & Sachs, R.M. (juillet 1975). Anthropometric manikin for acoustic research. Journal of Acoustical Society of America, 58 (1), 214-22.
7. Dreyfuss, H. (1967). The Measure of Man: Human Factors in Design. New York: Whitney Library of Design.
8. Rubiano, C. & Hayes, D. (février 2017). Tempus Field Trial Report 16 KFT-003, Internal communication.
9. Best, V. et al. (2010). « Sound Localization with BTE and CIC Hearing Aids. » Présenté à la conférence internationale pour la recherche sur les aides auditives (International Hearing Aid Research Conference), Tahoe City, Californie, États-Unis.

Chez Unitron, nous sommes profondément dévoués aux personnes concernées par une perte auditive. Nous travaillons en étroite collaboration avec les professionnels de l'audition afin d'offrir des solutions améliorant la vie de manière significative. Parce que l'audition est essentielle.

© 2017 Unitron. All rights reserved.

2017-05_027-6072-04