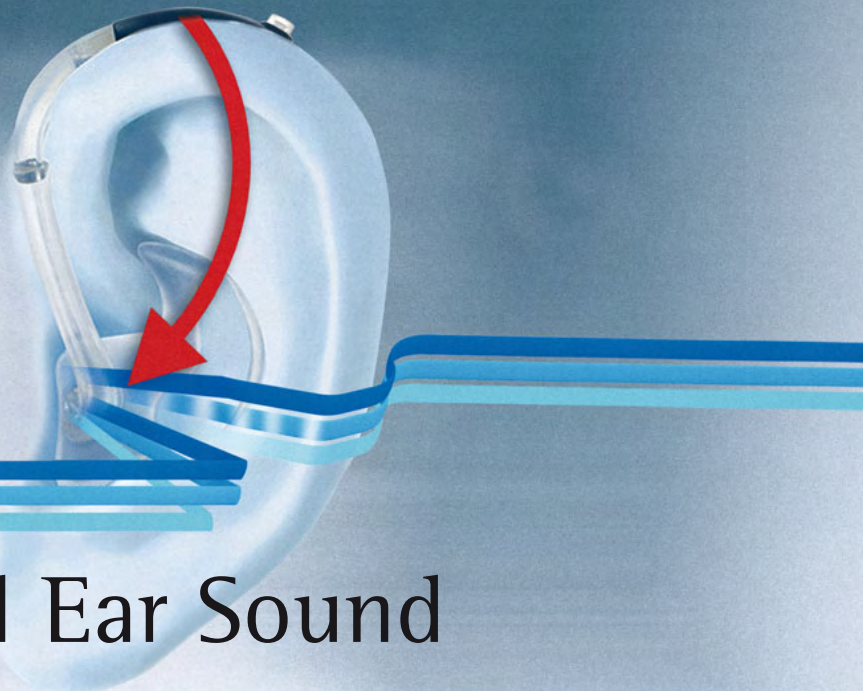


# Savia™

BioNumérique



## Real Ear Sound

### Résumé

La localisation précise des sons est nécessaire au confort et à la sécurité dans toutes les situations acoustiques. Elle contribue aussi à mieux comprendre la parole dans le bruit. Malheureusement, en raison de la position de leurs microphones, les contours d'oreille (CdO) ne bénéficient pas des indices acoustiques du pavillon qui contribuent à la localisation spatiale. Real Ear Sound rétablit cette fonction du pavillon en utilisant des algorithmes sophistiqués de traitement du signal. Il en résulte une bien meilleure capacité de localisation spatiale pour le malentendant. Les confusions avant/arrière, en particulier, sont nettement réduites.



**PHONAK**  
hearing systems

## Comment localisons-nous les sons?

La localisation spatiale précise des sons est à l'évidence utile dans la vie quotidienne. Une localisation précise des sons est une condition préalable nécessaire pour pouvoir «dessiner» son environnement sonore, entendre confortablement et se sentir en sécurité. De plus, l'intelligibilité est améliorée quand la parole est perçue dans l'espace séparément des bruits gênants (Plomp, 1976).

Notre capacité à déterminer l'origine d'un son dans l'espace s'appuie sur différents indices acoustiques. Un son provenant de la gauche atteint l'oreille gauche avant l'oreille droite. La différence de temps de parcours s'appelle «différence de marche interauriculaire» et s'étend de 0 (pour un son frontal, à 0°) à 650  $\mu$ s (pour un son latéral, à 90°). De plus, le niveau sonore sera plus faible dans l'oreille droite en raison de l'effet d'ombre de la tête. La longueur d'onde des fréquences supérieures à 1500 Hz est inférieure au diamètre de la tête et ces sons sont nettement atténués. La différence interauriculaire d'intensité à 5 kHz, par exemple, peut atteindre 20 dB, alors qu'elle n'est que d'environ 5 dB dans les graves à 500 Hz.

Les indices interauriculaires sont importants pour déterminer la direction d'un son incident, ce qui plaide nettement en faveur des appareillages binauraux. Les différences interauriculaires de temps et d'intensité ne sont cependant pas suffisantes pour lever toute ambiguïté quant à la localisation précise des sons. Un son frontal présentera les mêmes différences qu'un son arrière (à savoir nulles). Elles ne permettent donc pas de distinguer entre ces directions sonores. De même, un son d'azimut 30° présentera les mêmes caractéristiques qu'un son d'azimut 150° (figure 1). L'identité des différences de temps et d'intensité provoque alors des erreurs de localisation.

D'autres informations importantes pour améliorer la localisation spatiale sont fournies par le pavillon lui-même. Certains des sons pénètrent directement dans le conduit auditif externe, alors que d'autres subissent préalablement des réflexions sur un ou plusieurs replis du pavillon (figure 2). Les sons directs et réfléchis s'ajoutent avant d'atteindre le tympan. Ceci modifie systématiquement l'allure spectrale du signal composite en fonction de la direction du son incident (Blauert, 1996). De plus, le pavillon est directif aux fréquences élevées et fournit donc un indice de localisation supplémentaire. Le pavillon procure ainsi d'importantes informations spectrales monaurales, en particulier dans les aigus, indispensables pour éviter les confusions avant/arrière et assurer la localisation verticale.

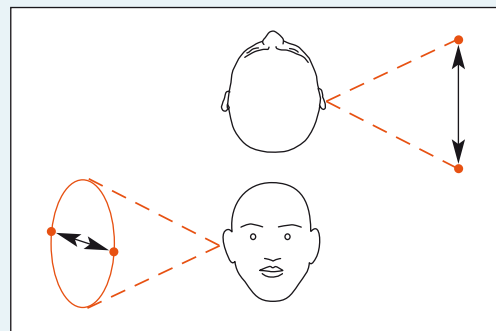


Figure 1

Dans le «cône de confusion», différentes positions dans l'espace se caractérisent par les mêmes différences interauriculaires de temps et d'intensité.

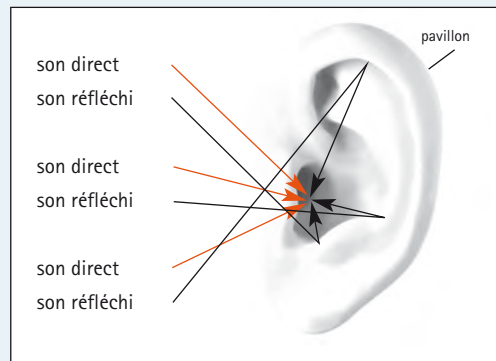
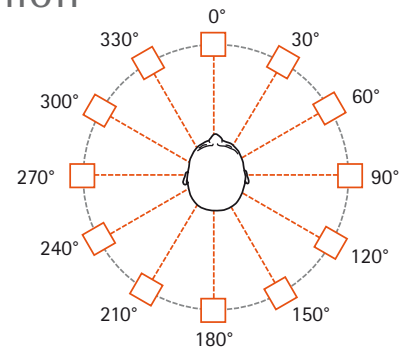


Figure 2

Réflexions du son incident sur le pavillon.

## Contours d'oreille et indices acoustiques du pavillon

Avec les contours d'oreille, les microphones sont placés au dessus et/ou légèrement en arrière du pavillon. Les indices acoustiques naturels du pavillon sont donc perdus. La figure 3 montre l'effet de la position du microphone sur la directivité naturelle de l'oreille. Alors que l'on observe un effet directif entre 2 et 4 kHz environ quand le signal est prélevé dans le conduit auditif (sur KEMAR), la directivité est totalement perdue quand le signal est prélevé par le microphone d'un contour d'oreille en mode omnidirectionnel. On peut s'attendre à ce que la localisation soit moins bonne avec des aides auditives qui ne bénéficient pas des indices acoustiques du pavillon. En fait, la localisation appareillée avec des CdO tend à être plus mauvaise que la localisation des sons audibles sans appareil. Ceci a été mis en évidence à la fois pour les localisations verticales (Noble et Byrne, 1990) et horizontales (Orton et Preves, 1979; Noble et Byrne, 1990; Keidser et al., 2004). Cette dégradation des performances appareillées a été constatée chez des malentendants utilisant leurs propres appareils, mais aussi dans le groupe de contrôle de normo entendants. Dans le groupe de malentendants, les performances de localisation diminuaient encore quand ils utilisaient un autre style d'aides auditives (i.e., TdO pour des utilisateurs de CdO et vice versa).



Installation d'essai pour les expériences de localisation spatiale

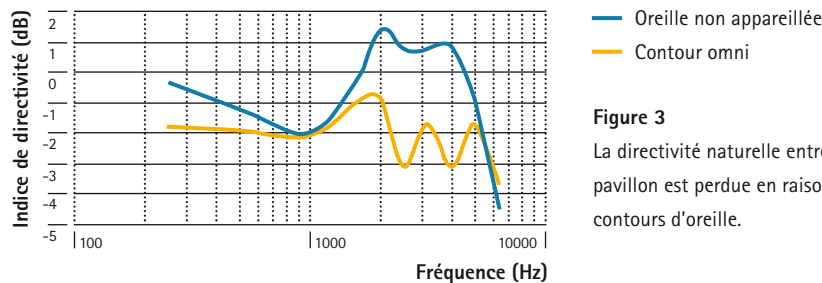


Figure 3

La directivité naturelle entre 2 et 4 kHz résultant de l'effet du pavillon est perdue en raison de la position du microphone des contours d'oreille.

La figure 4 illustre les résultats d'expériences de localisation dans le plan horizontal avec des contours d'oreille. Un bruit à pondération vocale (durée 500 ms) a été présenté dans l'un des douze haut-parleurs répartis autour du sujet. Le signal d'essai a été émis trois fois dans chaque direction, dans un ordre aléatoire. La figure montre les erreurs de localisation de 9 sujets bien entendants, oreilles nues et avec des contours d'oreille (mode omnidirectionnel, programmés pour une perte auditive horizontale de 20 dB).

On observe que l'emploi des contours d'oreille dégrade nettement les performances de localisation spatiale. En règle générale, la plus grande précision de localisation a été relevée pour des signaux d'incidences latérales. Les signaux provenant de l'avant et de l'arrière, par contre, ne sont pas localisés correctement lorsque les mesures sont faites avec les contours d'oreille et l'on peut observer de nombreuses confusions avant/arrière. Ces confusions peuvent s'expliquer par l'absence des indices acoustiques du pavillon. Les différences interauriculaires de temps et d'intensité sont nulles pour les signaux frontaux et arrière, mais les différences de pondération spectrale du signal pour ces deux directions, résultant des indices acoustiques du pavillon, permettent de lever les confusions entre l'avant et l'arrière. Si les indices acoustiques du pavillon font défaut en raison de la position du microphone des contours d'oreille, il n'est plus possible de localiser les sons avec précision.

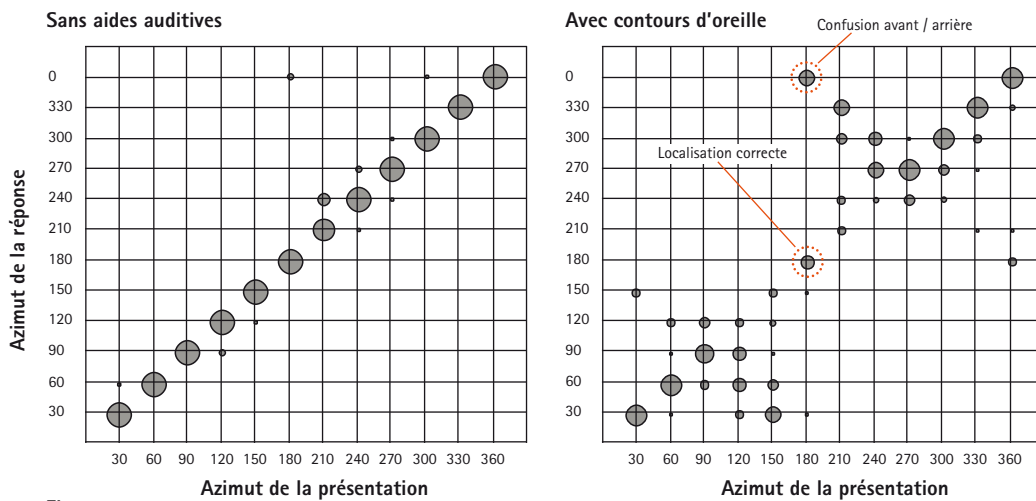


Figure 4

Erreurs de localisation spatiale de sujets normo entendants pour différents angles de présentation du signal (azimuts en degrés). Sans aides auditives (à gauche), l'angle de la présentation et l'angle de la réponse correspondent très bien; la localisation est quasi-parfaite. Par contre, de fréquentes erreurs, en particulier des confusions avant/arrière, se produisent avec des contours d'oreille en mode omnidirectionnel (à droite). (Recherche interne Phonak).

## Real Ear Sound de Savia

Savia avec Real Ear Sound est la première aide auditive à simuler réellement les effets de la pondération spectrale du pavillon.

La figure 5 illustre comment le Real Ear Sound restaure les effets du pavillon. Le graphique représente l'indice de directivité en fonction de la fréquence dans deux conditions: i) mesuré dans l'oreille nue (i.e. la courbe de directivité naturelle), et ii) avec le Real Ear Sound. On observe que la directivité naturelle au-delà de 1,5 kHz, perdue avec des contours d'oreille conventionnels, est restaurée avec le Real Ear Sound. Savia remplit ainsi les conditions préalables nécessaires à une localisation spatiale précise et à une sensation sonore naturelle.

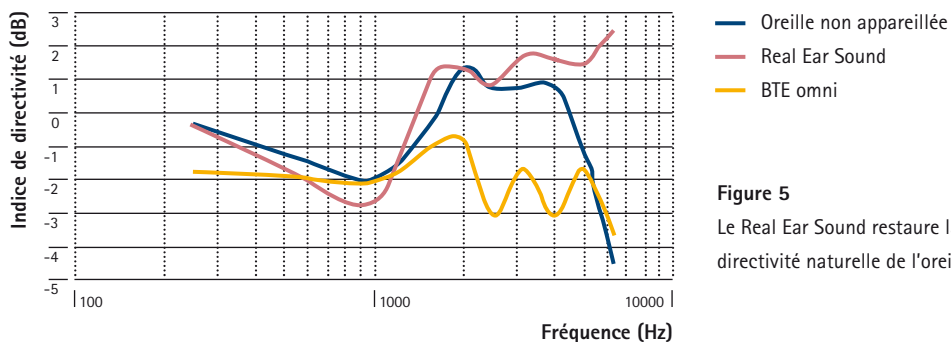


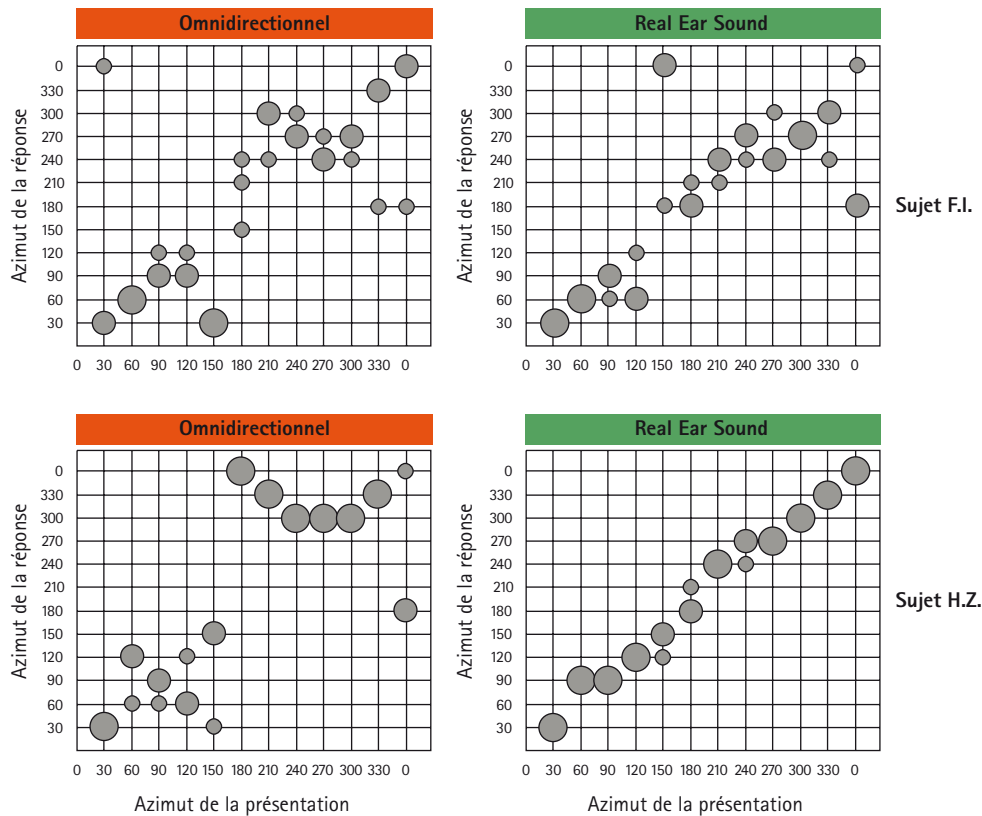
Figure 5

Le Real Ear Sound restaure la courbe de directivité naturelle de l'oreille ouverte

## Expériences de localisation

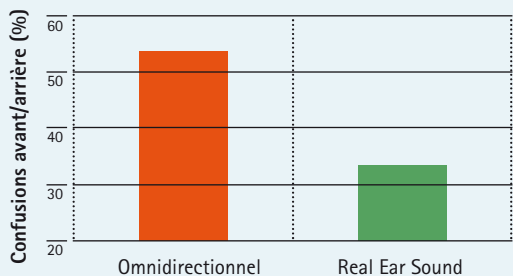
Des essais cliniques ont été réalisés pour évaluer l'effet du Real Ear Sound sur les performances de localisation. Dix-huit sujets malentendants ont participé à l'étude. Ils étaient âgés de 25 à 80 ans (moyenne d'âge 61 ans) et avaient 43 dB de perte auditive (tonale moyenne). Ils étaient tous utilisateurs expérimentés de contours d'oreille et ont été réappareillés avec des contours Savia 211 en utilisant leurs propres embouts et les événements requis par leur perte auditive individuelle. Un bruit à pondération vocale (durée 500 ms) a été présenté dans l'un des douze haut-parleurs répartis autour d'eux, comme indiqué page 3. Le signal d'essai a été présenté trois fois dans chaque direction, dans un ordre aléatoire. Des mesures ont été faites dans deux conditions d'essai : i) avec des microphones en mode omnidirectionnel, et ii) en mode Real Ear Sound. Une séquence d'entraînement a été conduite préalablement aux mesures dans chaque condition. Les résultats des expériences de localisation montrent une nette réduction des confusions avant / arrière (figure 7). Le taux de confusions a été réduit de 38% en moyenne.

L'effet du Real Ear Sound sur les performances de localisation spatiale varie d'un sujet à l'autre. Alors que l'on ne voit qu'une légère amélioration chez certains d'entre eux, d'autres révèlent au contraire des améliorations de performances considérables, avec une localisation presque parfaite quand ils utilisent le Real Ear Sound (figure 6).



**Figure 6**

Résultats individuels des expériences de localisation spatiale avec microphones omnidirectionnels (à gauche) et Real Ear Sound (à droite). Alors que l'amélioration est modérée chez certains sujets (en haut), d'autres connaissent des améliorations considérables de performances (en bas).



**Figure 7**

Le Real Ear Sound permet de réduire substantiellement les confusions avant/arrière chez les sujets malentendants (i.e. confusion de 0° avec 180°, et vice versa)

Il faut noter que les microphones directionnels conventionnels ont également un effet positif sur les performances de localisation (p. ex. Keidser et al., 2004). Les microphones directionnels ne sont cependant recommandés que pour des environnements d'écoute spécifiques (p. ex. pour comprendre la parole dans un bruit ambiant). Dans d'autres situations, ils se comportent comme un «écran» indésirable pour des sons qui devraient être entendus sans atténuation. Les microphones directionnels conventionnels ne sont donc pas appropriés pour améliorer les performances de localisation spatiale dans toutes les situations auditives. Le Real Ear Sound, par contre, ne produit pas d'atténuation large bande des sons et peut être activé dans toutes les situations auditives pour rétablir les performances naturelles de localisation spatiale. C'est pourquoi le Real Ear Sound est activé par défaut dans les programmes Savia destinés à entendre tous les sons («Situations calmes», «Confort dans le bruit» et «Musique»). Dans le programme «Parole dans le bruit» c'est le SurroundZoom numérique qui est activé pour assurer le maximum d'intelligibilité vocale.

## Références

- Blauert J (1996). Spatial Hearing. MIT Press, Cambridge MA.
- Keidser G, Rohrseitz K, Dillon H, Hamacher V, Carter L, and Convery E (2004). The effect of signal processing features in hearing aids on horizontal localization accuracy. Presented at IHCON Meeting, Lake Tahoe.
- Noble W, Byrne D (1990). A comparison of different binaural hearing aid systems for sound localization in the horizontal and vertical planes. British Journal of Audiology 24(5):335-342.
- Orton JF and Preves DA (1979). Localization ability as a function of hearing aid microphone placement. Hearing Instruments 30:18-21.
- Plomp R (1976). Binaural and monaural speech intelligibility of connected discourse in reverberation as a function of azimuth of a single competing sound source (speech or noise). Acoustica 34:200-211.