

Savia™

BioNumérique

Force technologique et
intelligence naturelle



Anatomie de Savia – Résumé

Savia, la famille d'aides auditives haut de gamme de Phonak, a pour objectif d'assurer constamment une audition naturelle, sans effort, dans toutes les situations auditives.

Pour atteindre cet objectif, tout un ensemble de systèmes innovants a été développé; parmi eux, des modes originaux de traitement du signal, des outils d'appareillage uniques et des fonctions technologiques révolutionnaires. Ils permettent à Savia de naviguer avec précision dans toutes les situations auditives de la vie quotidienne et de s'adapter en permanence à l'environnement acoustique.

Savia garantit ainsi l'intelligibilité vocale et le confort auditif, même dans les environnements difficiles, ce qui assure aux utilisateurs un niveau de satisfaction exceptionnel.

Introduction

Les besoins des malentendants vont bien au-delà de la simple amplification. Ils exigent non seulement de pouvoir comprendre sans effort, en particulier en présence de sources de bruit multiples, et de bénéficier de capacités naturelles de localisation spatiale, mais ils veulent aussi communiquer confortablement, sans effet d'occlusion ni larsen, même dans les milieux réverbérants. Par conséquent, les aides auditives doivent réagir de façon appropriée et «naviguer» avec précision dans les différents environnements acoustiques. De plus, les outils d'adaptation fine doivent être simples, pratiques et strictement orientés vers le patient, afin que les réglages optimaux des aides auditives assurent rapidement et en toute efficacité le maximum de satisfaction des utilisateurs.

Pour atteindre cet objectif, tout un ensemble d'innovations uniques au monde a été développé et mis en œuvre dans ce nouveau système auditif. Ces éléments composent l'anatomie de Savia (figure 1). Ils comprennent des fonctions centrales, des outils d'adaptation innovants et des caractéristiques technologiques fondamentales qui offrent tous de meilleures performances auditives pour répondre aux besoins individuels des patients malentendants.

Au cœur de Savia - un concept innovant

AutoPilot

SoundNavigation

EasyPhone

EasyFM

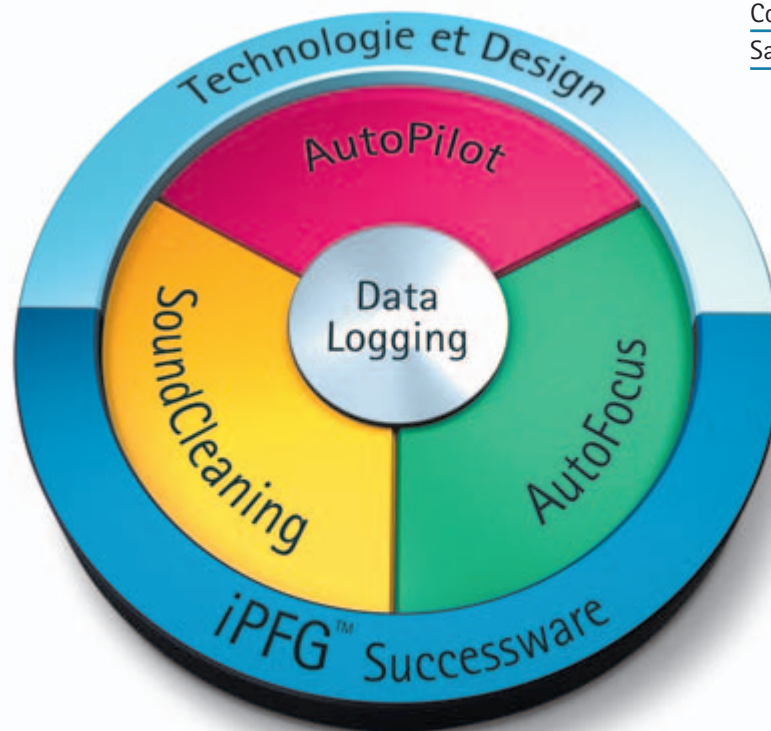
iPFG Successware

Datalogging avec
correction de sonie

iCOSI

Correction des sons typés

Savia Insight



SoundCleaning

EchoBloc

Anti-larsen par

opposition de phase

Réducteur de bruit à

haute résolution

Contrôle anti-vent

AutoFocus

digital SurroundZoom

Real Ear Sound

Figure 1: Fonctions centrales, outils d'adaptation et composants technologiques du système auditif Savia.

AutoPilot



Attentes du patient:

Les besoins auditifs doivent être satisfaits dans toutes les situations auditives importantes. Les auditeurs malentendants se trouvent chaque jour confrontés à différents types d'environnements acoustiques, plus ou moins fréquents et dont l'importance varie selon les

individus. Dans chacune de ces situations auditives, les appareils devraient satisfaire les attentes et les besoins auditifs très spécifiques à chaque malentendant (p. ex.: intelligibilité maximale et sans effort lors de conversations au calme mais confort dans le bruit).

La solution Savia: AutoPilot avec SoundNavigation

L'environnement acoustique aux multiples facettes est individuel. Les chercheurs ont cependant montré que les situations quotidiennes pouvaient se classer en quatre groupes pertinents principaux qui recouvrent pratiquement tous les environnements auditifs: situations calmes, parole dans le bruit, bruit seul et musique (figure 2).

Dans chacun de ces quatre groupes, l'aide auditive doit répondre à des attentes auditives spécifiques. Dans le calme, par exemple, l'utilisateur s'attend à une bonne perception globale des sons et à une audition sans effort. Ecouter une conversation en milieu bruyant exige de supprimer efficacement les bruits gênants pour bien comprendre la parole. Pour écouter de la musique, par contre, l'utilisateur s'attend à une sonorité riche et pure. Pour répondre efficacement à ces multiples exigences, Savia propose quatre programmes de base. Chaque programme de base est bâti sur le type de

traitement du signal et les réglages les mieux appropriés aux exigences auditives respectives.

Le patient n'a pas besoin de commuter manuellement entre les programmes. Le SoundNavigation analyse en permanence l'environnement acoustique, le classe dans l'une de ces quatre catégories et active le programme de base approprié (figure 3).

De multiples paramètres acoustiques du signal d'entrée sont calculés en continu dans l'étage d'extraction des traits caractéristiques. Ils caractérisent le signal et en permettent la classification précise. Les traits caractéristiques décrivent l'intensité ainsi que les propriétés spectrales et temporelles du signal. Comme Bregman, 1990, nous l'a appris (Auditory Scene Analysis), ces caractéristiques sont également utilisées par le cerveau humain pour isoler des «objets acoustiques» dans un milieu sonore. C'est le principe de base pour comprendre dans le bruit ou identifier un instrument donné dans un

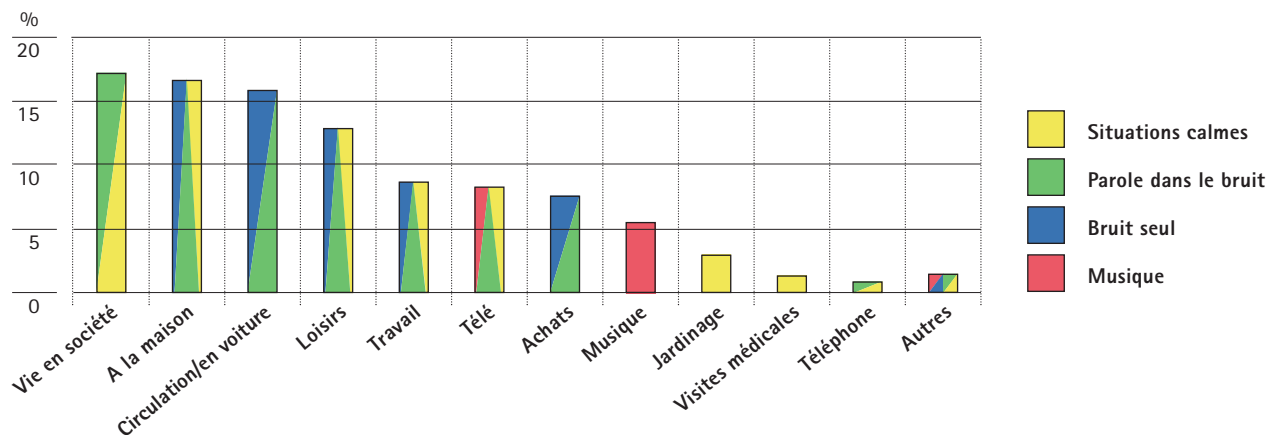


Figure 2: Situations auditives décrites comme étant pertinentes (Gabriel, 2004). Les données sont issues des journaux tenus par 20 sujets adultes malentendants sur une période de 4 semaines. Plus de 750 situations individuelles ont été décrites au total. La plupart des

situations ne sont pas couvertes par une seule des quatre catégories mais combinent par exemple une situation calme et de la parole dans le bruit, comme l'illustre qualitativement cette figure.

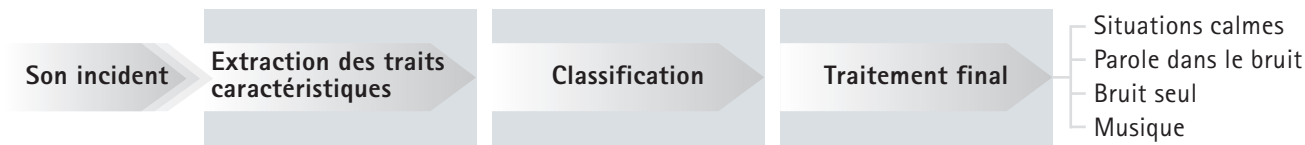


Figure 3: Classification des environnements acoustiques : choix du programme de base

orchestre. En général, ces traits caractéristiques permettent de classifier le signal d'entrée. Ceci est réalisé dans une étape ultérieure du traitement qui comprend une analyse statistique des traits caractéristiques identifiés. Le traitement final comprend une correction des traits acoustiques hors catégorie. Pour classifier le signal d'entrée dans l'un des quatre groupes, une durée d'observation pouvant atteindre 10 secondes doit être considérée. La transition douce dans le programme de base approprié peut prendre jusqu'à 5 secondes, selon les préférences de l'utilisateur. La figure 4 illustre le mode de sélection automatique du programme de base approprié par le SoundNavigation.

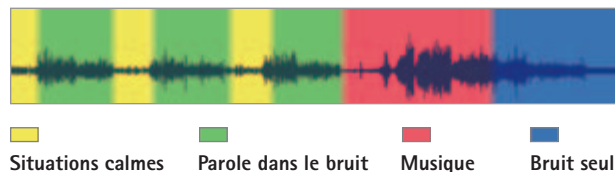


Figure 4: Illustration du SoundNavigation. Dès que l'environnement acoustique change, le SoundNavigation le détecte et sélectionne le programme auditif approprié.

Attentes du patient:

Utilisation sans problème du téléphone et des équipements FM. Le téléphone fait partie intégrante de la communication moderne. Les systèmes FM sont essentiels pour de nombreux patients malentendants, car ils

leur offrent d'énormes avantages en termes d'intelligibilité vocale, surtout dans les situations acoustiques difficiles. L'utilisation de ces voies de communication doit être aussi simple et naturelle que possible.

La solution Savia: EasyPhone et EasyFM

Les contours d'oreille Savia équipés d'un récepteur FM détectent automatiquement la présence d'un signal FM. Si un orateur (avec un émetteur FM) commence à parler, Savia commute automatiquement en mode FM+M. Quand il n'y a plus d'entrée audio, Savia retourne automatiquement dans le programme de base sélectionné par le SoundNavigation. De même, quand le patient décroche son téléphone (équipé d'un aimant) Savia commute automatiquement dans le programme téléphone prévu (capteur téléphonique ou téléphone acoustique) pour une intelligibilité vocale optimale; l'emploi du téléphone devient aussi simple et naturel pour les malentendants que pour les bien entendants.

La figure 5 présente la hiérarchie de commutation des programmes de Savia. Tout en haut se trouve le détecteur EasyPhone. Le geste d'un utilisateur qui place son récepteur téléphonique contre son oreille est sans ambiguïté: son intention est de téléphoner. Le programme téléphone est alors activé automatiquement, quel que soit le mode de fonctionnement préalable de l'aide auditive.

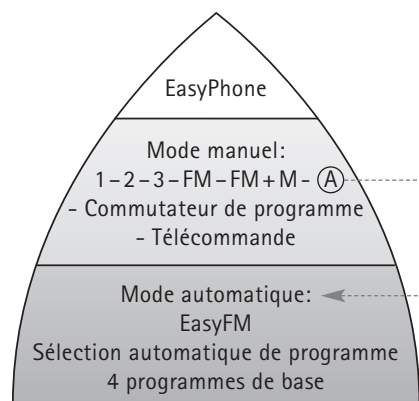


Figure 5: Niveaux hiérarchiques de commutation des programmes Savia.

Le mode manuel occupe le second niveau hiérarchique, car une sélection manuelle est une décision claire de l'utilisateur. Le mode automatique sélectionne de façon autonome le programme de base approprié. En mode automatique, FM+M sera activé dès qu'un signal sera reçu dans l'entrée audio.

AutoFocus



Attentes du patient:

Pouvoir localiser les sons avec précision. Pouvoir localiser les sons dans l'espace est un avantage évident dans la vie quotidienne. Une localisation sonore spatiale précise est la condition initiale à la maîtrise de l'environnement et au sentiment de confort et de sécurité.

De plus, l'intelligibilité et la qualité naturelle d'un signal vocal sont renforcées quand on peut le distinguer dans l'espace des autres sources sonores (Plomp, 1976).

La solution Savia: Real Ear Sound

Notre capacité de localisation spatiale des sons s'appuie sur des indices acoustiques tels que les différences inter auriculaires de temps et d'intensité, ainsi que l'impact spectral du pavillon de l'oreille sur les indices acoustiques. Alors que les différences inter auriculaires de temps et d'intensité procurent avant tout des informations sur l'azimut de la source sonore, les indices acoustiques fournis par le pavillon assurent surtout la localisation verticale et la discrimination avant/arrière (voir p. ex. la revue de Blauert, 1997). On peut s'attendre à ce que des aides auditives qui dégradent les indices acoustiques du pavillon affectent les performances de localisation. En fait, la localisation appareillée des sons audibles tend à être moins bonne que la localisation oreilles nues. Cette constatation a été faite à la fois pour les localisations verticales (Noble et Byrne, 1990) et horizontales (Orton et Preves, 1979; Noble et Byrne, 1990). La dégradation des performances de localisation avec des contours d'oreille résulte de la position des microphones. Ils sont placés derrière l'oreille et ne prennent donc pas en compte les effets du pavillon.

Savia avec Real Ear Sound est la première aide auditive à simuler vraiment les effets du pavillon sur le spectre sonore. La figure 6 représente l'indice de directivité en fonction de la fréquence dans trois conditions: 1) dans l'oreille nue (c.-à-d. la courbe de directivité naturelle, relevée sur le KEMAR), 2) à la sortie d'un contour d'oreille conventionnel en mode omnidirectionnel et 3) avec le Real Ear Sound. On peut observer que la directivité naturelle dans les aigus au-dessus de 1,5 kHz, perdue avec un contour d'oreille conventionnel, est restaurée avec le Real Ear Sound. De ce fait, Savia répond aux exigences de bénéficier d'une localisation spatiale précise et de sensations sonores naturelles.

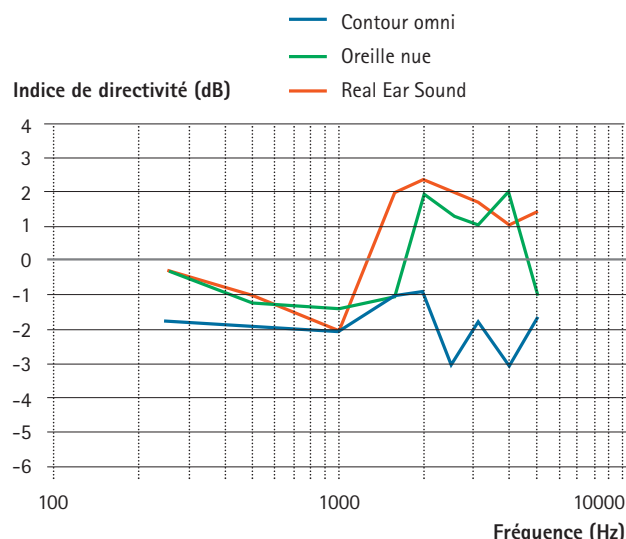


Figure 6: Real Ear Sound restaure la courbe de directivité naturelle de l'oreille humaine.

Attentes du patient:

Bénéficier au maximum de l'effet directionnel. Une bonne intelligibilité vocale dans le bruit est la priorité numéro 1 des malentendants (Kochkin 1993). L'application des microphones directionnels s'est révélée être le moyen le plus efficace à ce jour pour améliorer l'intelli-

gibilité vocale dans le bruit (p. ex. Killion 2004). Ce résultat est atteint en supprimant les sources de bruit, favorisant ainsi le rapport du signal au bruit dans les situations défavorables. La directivité des aides auditives a un impact fort sur la satisfaction des utilisateurs.

La solution Savia: digital SurroundZoom

La technologie directionnelle appliquée aux aides auditives a nettement progressé au cours des dernières années. En 1999, Phonak a introduit la directivité adaptative qui améliore encore l'avantage directionnel dans de nombreuses situations de la vie courante (Ricketts et Henry, 2002; Kühnel et Checkley, 2002). La courbe polaire d'un système directionnel adaptatif s'ajuste continûment, de telle sorte que la source de bruit la plus intense soit réduite au maximum et que le signal vocal frontal conserve son amplification. Une cardioïde est choisie pour traiter les sources arrière, alors que le système sélectionne un polarigramme bidirectionnel pour supprimer au mieux les bruits latéraux. Mais la vie courante présente aussi de nombreuses situations dans lesquelles les sources de bruit sont spatialement et spectralement distinctes (figure 7).

Le SurroundZoom numérique de Savia tient compte de cela et permet à la technologie directionnelle de faire un grand pas en avant. La caractéristique directionnelle est ajustée en fonction de la fréquence. Le diagramme polaire n'est donc pas le même à chaque fréquence car 20 focalisateurs indépendants sont activés pour assurer la suppression sélective des différentes sources de bruit.

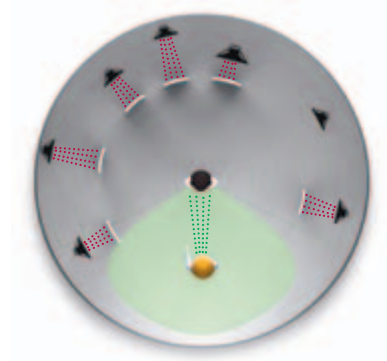
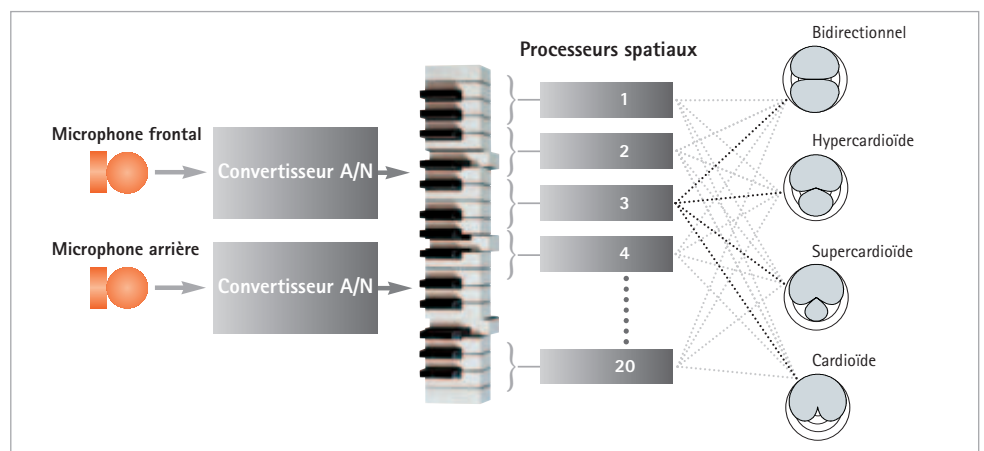


Figure 7: Dans de nombreuses situations quotidiennes, les sources de bruit sont séparées spatialement et spectralement. Le digital SurroundZoom de Savia assure la suppression sélective de ces sources de bruit.

La directivité optimale est calculée et activée dans chaque canal en quelques millisecondes (figure 8). Ceci permet d'adapter au mieux l'effet directionnel à l'environnement acoustique et de répondre à l'exigence première des patients: mieux entendre dans les situations auditives difficiles.

Figure 8: Le SurroundZoom calcule le polarigramme optimal dans 20 canaux indépendants.



SoundCleaning



Attentes du patient:

Ecoute sans effort et confort auditif dans les situations astreignantes, sans compromis ni sur la qualité sonore, ni sur l'intelligibilité vocale.

La solution Savia: SoundCleaning

Le SoundCleaning de Savia comporte plusieurs modes de traitement du signal innovants pour faciliter l'écoute et améliorer le confort auditif dans les situations acoustiques difficiles. La réverbération et le bruit du vent, par exemple, dégradent l'intelligibilité vocale et le confort auditif. De même, l'effet Larsen est non seulement gênant, mais il limite aussi le gain disponible. SoundCleaning est un ensemble de traitements numériques du signal ultramodernes capables d'éliminer ces difficultés et de renforcer encore le bénéfice prothétique.

EchoBloc

La réverbération résulte de réflexions du son sur les murs, le plafond ou les fenêtres. Ces réflexions génèrent des images retardées et atténuées du signal original, avec un spectre légèrement modifié. L'auditeur perçoit les réflexions superposées au son provenant directement de la source (figure 9). En fait, le signal original subit un traînage temporel. La réverbération est caractérisée par le «temps de réverbération» qui indique combien de temps durent les réflexions. Les temps de réverbération typiques s'étendent d'environ 0,4 secondes dans des bureaux ou de petites salles de conférence jusqu'à 2

secondes ou plus dans des salles de concert ou des églises. La réverbération affecte l'intelligibilité vocale dans le calme et la dégrade encore dans le bruit, (Johnson, 2000). De plus, l'avantage des microphones directionnels est limité dans des milieux réverbérants (Ricketts et Hornsby, 2003).

EchoBloc détecte et supprime les réverbérations (figure 10). C'est la première fois au monde, qu'une aide auditive est capable d'atténuer efficacement les réverbérations.

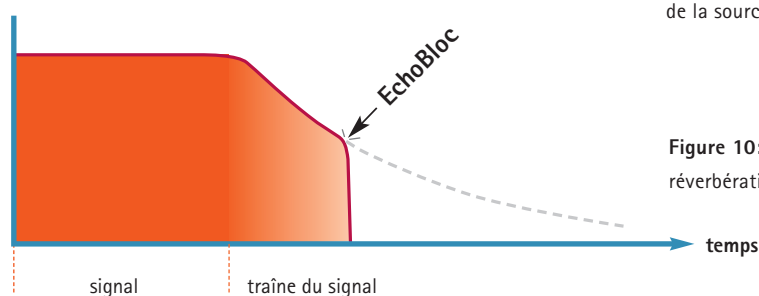


Figure 9: Réverbération – superposition du son directement issu de la source et de ses réflexions.

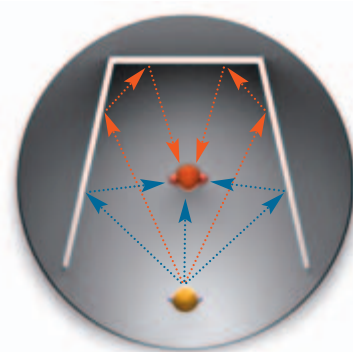


Figure 10: Principe de la technologie EchoBloc. La «traîne» due à la réverbération est détectée et supprimée.

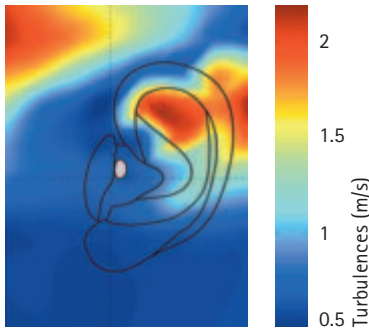


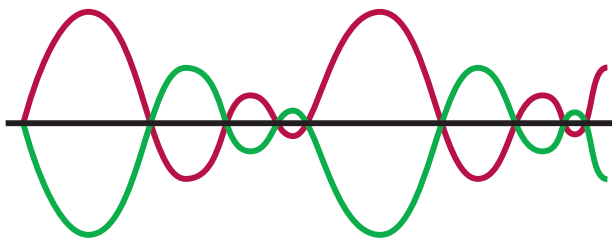
Figure 11: Turbulences au niveau de l'oreille, dues à une légère brise (5 m/s).

Contrôle anti-vent

Le bruit de vent provient de turbulences au niveau de la tête, du torse, du pavillon et de l'aide auditive (figure 11).

Le bruit de vent est caractérisé par un spectre grave et des niveaux de pression acoustique qui peuvent être très élevés. Il est dynamique et dépend de la direction et de la vitesse du vent. Le bruit de vent peut provoquer un effet de masquage et une saturation des microphones des aides auditives. En raison de son niveau élevé, le bruit de vent va activer les algorithmes de compression qui réduiront le gain de l'appareil.

Le contrôle anti-vent de Savia s'appuie sur deux principes: une protection mécanique et une réduction électronique. Les filtres de protection contre le vent et les impuretés des contours d'oreille limitent les turbulences avant qu'elles n'atteignent les microphones. Le bruit de vent résiduel est alors détecté électroniquement en analysant le signal d'entrée. Le bruit du vent est ensuite éliminé du signal d'entrée. La combinaison unique de contrôles anti-vent mécanique et électronique permet à Savia de préserver l'effet directionnel même s'il y a du vent.



Réducteur de bruit à haute résolution

Les systèmes de réduction du bruit suppriment des bruits ambiants entretenus tels que les bruits de moteurs ou de ventilateurs. Savia contrôle les bruits avec la haute résolution de 20 canaux indépendants. Ceci permet de supprimer efficacement le bruit ambiant, quelle que soit son allure spectrale. Des méthodes d'analyse plus puissantes permettent aussi de mieux faire la distinction entre le bruit et les signaux vocaux.

Anti-larsen par opposition de phase

Les microprocesseurs modernes permettent aujourd'hui de mettre en place de puissants modes de traitement du signal, capables de supprimer efficacement le larsen acoustique. L'anti-larsen de Savia fonctionne sur le principe de l'opposition de phase dans le domaine fréquentiel. Selon ce principe, des ondes sonores peuvent être supprimées par leur propre image déphasée de 180° (figure 12). C'est la seule technologie qui permet de supprimer le larsen sans réduction du gain.

L'algorithme comprend trois étapes: la détection du larsen, sa modélisation et sa suppression. Une analyse de corrélation à haute résolution entre l'entrée de l'aide auditive et sa sortie est mise en œuvre pour détecter le larsen. La fonction de corrélation caractéristique du larsen acoustique est utilisée pour sa détection. Pour supprimer le larsen, un signal de même fréquence, mais en opposition de phase, est généré. L'addition des deux signaux élimine efficacement le larsen, en préservant le gain.

Figure 12: Principe de l'inversion de phase. Le signal de larsen (rouge) et le signal généré en opposition de phase (vert) s'annulent mutuellement (ligne plate).



Attentes du patient:

Transposition directe des souhaits individuels en réglages audioprothétiques. Chaque patient a ses propres priorités auditives et se trouve dans des situations

spécifiques où ses aides auditives doivent lui donner le maximum. Pour le satisfaire vraiment, ces exigences individuelles doivent être directement prises en considération dans l'adaptation de ses aides auditives.

La solution Savia: iCOSI

COSI (abréviation de «Client Oriented Scale of Improvement», Dillon 1997) est un questionnaire d'autoévaluation qui identifie les objectifs auditifs essentiels du patient. Contrairement aux questionnaires qui traitent de sujets prédéfinis, (éventuellement non significatifs pour l'utilisateur), le patient indique ici quelles sont ses situations auditives les plus importantes. Ceci permet de concentrer efficacement la procédure d'appareillage sur les thèmes qui lui sont essentiels. Dans iPFG, le logiciel d'adaptation de Savia, iCOSI n'est pas une simple «annexe» pour l'évaluation du

succès prothétique mais fait vraiment partie intégrante du processus d'appareillage (figure 13).

L'emploi de iCOSI garantit que les besoins auditifs essentiels pour le patient seront intégrés dans les processus d'appareillage et d'adaptation fine. Ces besoins ne seront pas seulement pris en compte en début et en fin d'appareillage, mais tout au long du processus. Là encore, les besoins individuels du patient sont placés, sans compromis aucun, au cœur de la procédure.

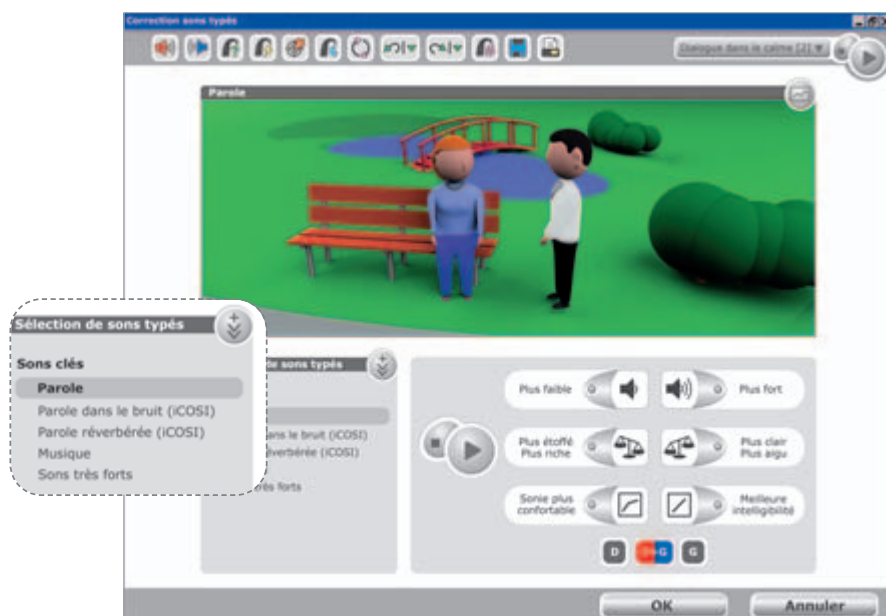


Figure 13: Intégration d'iCOSI dans le processus d'appareillage. Les besoins individuels «iCOSI» apparaissent dans les outils d'adaptation fine.

Attentes du patient:

L'adaptation fine de l'aide auditive doit limiter le besoin de réglage du gain. Dans certaines situations auditives, le patient doit augmenter ou réduire son volume sonore. Ces interventions deviennent parfois systématiques dans certains environnements comme, par exemple, dans des situations bruyantes: ceci indique un

besoin d'adaptation fine. L'idéal serait que l'audioprothésiste le sache, afin de répondre aisément aux besoins individuels de son patient. Jusqu'à présent, l'adaptation fine a surtout été réalisée sur la base d'informations imprécises fournies par l'utilisateur. L'audioprothésiste ne pouvait que l'estimer grossièrement.

La solution Savia: DataLogging et correction de sonie

L'une des grandes innovations des aides auditives Savia ouvre de toutes nouvelles possibilités pour l'adaptation prothétique et pour conseiller les patients: DataLogging. Des informations quantitatives concernant l'utilisation individuelle de l'aide auditive sont maintenant à la disposition du professionnel. En effet, outre les commentaires subjectifs du patient, l'audioprothésiste a désormais sous la main des données objectives pour optimiser encore le processus d'appareillage d'une façon très efficace. Ces données objectives comprennent:

- La durée totale d'utilisation
- La durée d'utilisation quotidienne moyenne
- Le taux d'utilisation du mode automatique et de chaque programme manuel
- Les modifications de volume sonore faits par le patient

La moyenne des réglages de volume faits par le patient est réactualisée en permanence au cours de l'utilisation des appareils. Les changements les plus récents ont une plus forte pondération que les plus anciens, ce qui permet de prendre correctement en compte de possibles effets d'acclimatation. En s'appuyant sur cette moyenne, la correction de sonie de Savia calcule une proposition d'adaptation fine qui peut être activée par l'audioprothésiste (figure 14) lors de la prochaine visite. L'aide auditive ne change donc pas ses réglages de façon autonome mais laisse au professionnel le contrôle total des actes d'adaptation fine, désormais réalisables aussi sur la base de données objectives.

D'autres informations fournies par le DataLogging, telles que la durée moyenne d'utilisation quotidienne ou la fréquence de sélection des programmes, aident à donner des conseils personnalisés aux patients et donc à répondre efficacement à leurs besoins individuels; le bénéfice prothétique à long terme peut ainsi être optimisé à la plus grande satisfaction des utilisateurs.



Figure 14: Correction individuelle de sonie. Propositions d'adaptation fine basées sur les changements réels de gain faits par le patient dans la vie courante.

Bibliographie

Blauert J (1997). Spatial hearing. The psychophysics of human sound localization. Revised edn. MIT Press, Cambridge, MA.

Bregman AS (1990). Auditory Scene Analysis (MIT Press, Cambridge).

Dillon H, James A, Ginis J (1997). Client Oriented Scale of Improvement (COSI) and its relationship to several other measures of benefit and satisfaction provided by hearing aids. *J Am Acad Audiol* 8(1): 27-43.

Checkley P and Kühnel V (2000). Advantages of an adaptive multimicrophone system. *The Hearing Review* 7 (5):58-60 & 74.

Gabriel B (2003). Research Report 20030029, Hörzentrum Oldenburg, Germany.

Johnson CE (2000). Children's phoneme identification in reverberation and noise. *Journal of Speech Language and Hearing Research* 43(1):144-57.

Killion M (2004). Myths about hearing in noise and directional microphones. *Hearing Review* 11(2):14-19,72-73.

Kochkin S (1993). MarkeTrak III identifies key factors in determining customer satisfaction. *Hearing Journal* 46(8): 39-44.

Noble W and Byrne D (1990). A comparison of different hearing aid systems for sound localization in the horizontal and vertical planes. *British Journal of Audiology* 24:335-342.

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.

Ricketts T and Henry P (2002). Evaluation of an adaptive, directional-microphone hearing aid. *Int. Journal of Audiology* 41:100-112.

Ricketts TA, Hornsby BW (2003). Distance and reverberation effects on directional benefit. *Ear and Hearing* 24(6):472-84.