

## Directivité binaurale

La communication sans fil donne accès à une toute nouvelle approche des systèmes de microphones multiples directionnels

### Introduction

Phonak s'est distingué en inventant la technologie du multi-microphone appliquée aux aides auditives. Dès les années 1990, les aides auditives ayant la technologie du microphone directionnel AudioZoom ont établi de nouvelles références de clarté vocale dans le bruit. Avec l'émergence des aides auditives numériques, la technologie du multi-microphone a été adoptée par tous les fabricants et a continué à évoluer. La technologie du multi-microphone est maintenant un standard, attendu dans toutes les aides auditives. Les limitations physiques spécifiques imposées par l'emploi de deux microphones seulement ont longtemps été un obstacle pour pouvoir offrir de plus grands bénéfices aux utilisateurs. Avec ZoomControl, il a été possible, pour la première fois, de produire de nouveaux modèles microphoniques en permettant un échange interactif de données entre les appareils droit et gauche. L'utilisateur peut désormais concentrer sélectivement son audition sur la droite, la gauche ou à l'arrière. Phonak vient maintenant de franchir une nouvelle étape importante dans la technologie des microphones directionnels. En combinant notre capacité unique de transmission large bande du signal audio entre les aides auditives et la fonction directive, Phonak peut désormais offrir un système de focalisation binaurale. De toutes nouvelles configurations microphoniques peuvent ainsi être créées. En utilisant l'échange audio sans fil, les microphones des deux aides auditives travaillent de concert pour se focaliser encore plus précisément sur la source sonore frontale, tout en minimisant les bruits perturbants venant de toutes les directions. Il en résulte une nette amélioration du rapport du signal sur bruit (RS/B) qui offre une bien meilleure intelligibilité qu'auparavant dans les situations d'écoute difficiles.

### Focalisation auditive naturelle

L'oreille humaine est capable de localiser différentes sources sonores situées à quelques degrés les unes des autres. Ceci est possible en utilisant les différences ténues de temps de propagation et d'intensité au niveau de chaque oreille. Ce processus de localisation est normalement inconscient et peut être utilisé pour se concentrer sur des sons spécifiques. Le cerveau évalue l'importance apparente des sons incidents venant de chaque direction et les soumet à une analyse de la

scène auditive. Selon les résultats de cette évaluation, certains sons sont renforcés ou supprimés. Ce mécanisme est désorganisé et moins efficace en cas de perte auditive, ce qui entraîne des difficultés de localisation des sons et de discrimination dans le bruit lors du traitement des signaux par l'oreille interne et le cerveau. La technologie moderne tente de restaurer ces capacités. Mais comme elle ne peut pas intervenir dans l'oreille interne ou le cerveau elle agit en renforçant les signaux considérés comme importants et en supprimant ceux qui semblent peu pertinents, voire gênants. La technologie du multi-microphone dans les aides auditives est la méthode la plus importante et la plus efficace pour distinguer entre les sons utiles et indésirables. Elle exploite le fait qu'un sujet se tourne normalement vers le signal audio qu'il souhaite entendre. La caractéristique directionnelle des microphoniques renforce habituellement les signaux frontaux et atténue ceux qui viennent des autres directions.

### Limites des systèmes de doubles-microphones

Les systèmes élémentaires de doubles-microphones ont des limites spécifiques régies par les lois de la physique. La figure 1 représente différentes caractéristiques d'un système à deux microphones. Le diagramme polaire va de la caractéristique omnidirectionnelle pure à une courbe en huit. A l'exception de la courbe en huit, qui n'est généralement pas utilisée, la focalisation est toujours frontale dans les aides auditives. On observe donc une seule direction principale, mais dans laquelle la sensibilité de l'aide auditive en fonction de l'azimut n'est pas très précise. De ce fait, tous les signaux situés dans un angle frontal d'environ  $\pm 60^\circ$  s'ajoutent au signal venant directement de l'avant. Ce n'est pas toujours souhaitable dans certaines situations auditives.

Pour faire face à cet état de fait, le faisceau doit être plus étroit et plus sensible, ce qui peut être obtenu en augmentant la distance entre les deux microphones.

Cette stratégie a toutefois aussi ses limites en raison de la très petite taille des boîtiers des aides auditives actuelles. Augmenter le nombre de microphones

connectés en série permettrait aussi de créer un faisceau plus étroit, ce qui a été fait avec peu de succès. Bien que la connexion de plusieurs microphones en série puisse en principe permettre de créer de nouvelles caractéristiques directionnelles, le défi est que ceci ne peut être réalisé qu'avec des systèmes de microphones directionnels du second ordre.

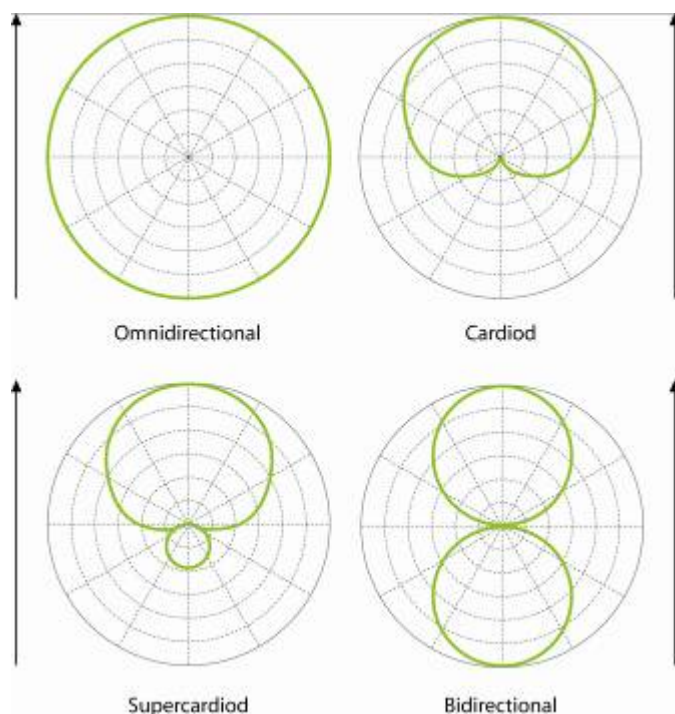


Fig. 1: Polarigrammes représentant les courbes de directivité théoriques des microphones, entre lesquelles l'aide auditive peut évoluer continûment.

### Les effets de «l'ordre»

Un microphone directionnel simple est également connu sous le nom de «microphone de premier ordre». Pour des raisons physiques, la sensibilité d'un microphone directionnel dépend de la fréquence, c'est-à-dire qu'il transmet moins bien les graves que les aigus. La sensibilité diminue de 6 dB par octave avec la fréquence; sans correction, ce phénomène peut se traduire par la perception d'un son faible en raison de la mauvaise transmission des graves. Compenser ce phénomène en corrigeant la courbe de réponse augmente le niveau de bruit interne, ce qui peut poser des problèmes en particulier si les signaux d'entrée sont noyés dans le bruit interne devenu audible. Les systèmes de doubles-microphones utilisent souvent deux microphones omnidirectionnels pour obtenir une caractéristique directionnelle de premier ordre. Dans les aides auditives numériques, les systèmes de multi-microphones fonctionnent souvent en mode omnidirectionnel dans les graves et directionnel dans les fréquences plus élevées. On emploie parfois la directivité large bande, dans des situations acoustiques spécifiques où l'on suppose que le bruit interne amplifié sera inaudible ou n'affectera pas l'intelligibilité des autres signaux utiles. Bien que les aides auditives modernes aient des canaux de fréquences multiples permettant de minimiser ces problèmes, la solution n'est toujours pas totalement satisfaisante.

Le problème de l'augmentation du bruit interne dans les graves est encore plus sérieux dans les microphones directionnels d'ordre supérieur, comme les configurations de triples microphones ou de microphones en série. La sensibilité peut, par exemple, diminuer de 12 dB par octave dans les graves avec un système de triples microphones (figure 2). Par conséquent, dans les appareils à trois microphones, deux seulement fonctionnent dans les graves. Le troisième n'étant actif que dans les fréquences supérieures à 1 kHz.

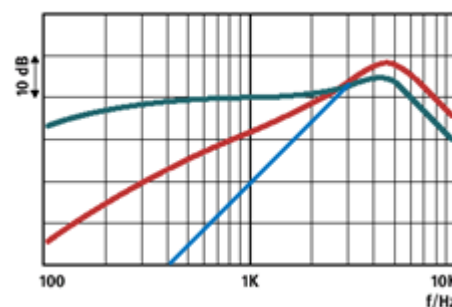


Fig 2: Niveaux de sensibilité de systèmes de microphones simple (ligne verte), double (ligne rouge) et triple (ligne bleue).

### Caractéristiques directionnelles réalistes

Il faut noter qu'une partie de cette discussion sur la technologie des microphones doubles/multiples est théorique. Les courbes de principe mentionnées plus haut dans le cas d'un système de double-microphone ne peuvent être atteintes que si l'on considère l'aide auditive en champ libre, sans obstacle. Les résultats obtenus en portant les aides auditives dans les environnements d'écoute de la vie réelle seront bien sûr différents. Avec un contour d'oreille typique, par exemple, le son venant d'un côté peut pénétrer dans le microphone avec relativement peu d'interférences. S'il provient de l'autre côté, la tête de l'utilisateur crée un effet d'ombre (figure 3). L'effet net de la diffraction provoquée par l'ombre de la tête est moins sévère pour les fréquences graves et une augmentation des aigus. Il en résulte en pratique que la directivité est généralement moins bonne pour les fréquences graves.

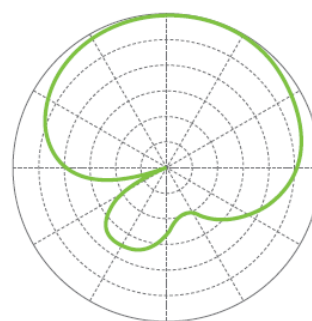


Fig. 3: Mesure de la caractéristique directionnelle de la tête, montrant l'effet d'ombre de la tête.

### Développements de ZoomControl

Le développement de ZoomControl dans les aides auditives Phonak a représenté une nouvelle étape dans les systèmes de multi-microphones. Pour la première fois, un utilisateur d'aides auditives pouvait choisir de focaliser son audition dans

une direction autre que frontale. ZoomControl applique les principes des doubles-microphone déjà discutés, mais avec la possibilité de se focaliser vers l'arrière aussi bien que vers l'avant. Quand le faisceau d'un double microphone doit être orienté vers la droite ou vers la gauche, le positionnement des microphones doit être modifié en les plaçant en parallèle et non en série (figure 4). Ceci est théoriquement possible dans un appareillage binaural, car les microphones de l'ensemble des deux appareils pourraient être utilisés pour obtenir cette configuration. Il ne reste plus qu'à relier ces microphones, ce qui peut être fait en utilisant une technologie radio sans fil, par exemple, dans un réseau HIBAN (Hearing Instrument Body Area Network). Si le faisceau doit être orienté vers la droite, le microphone frontal de l'appareil droit peut jouer le rôle du microphone frontal et le microphone de l'appareil gauche peut jouer le rôle du microphone arrière. Mais ce n'est pas tout à fait aussi simple car, en pratique, l'effet d'ombre de la tête peut être tel qu'il n'y a pas de signal utilisable du côté contralatéral pour réaliser le processus directionnel. Une approche sensiblement différente a été adoptée avec ZoomControl pour obtenir une focalisation latérale efficace.

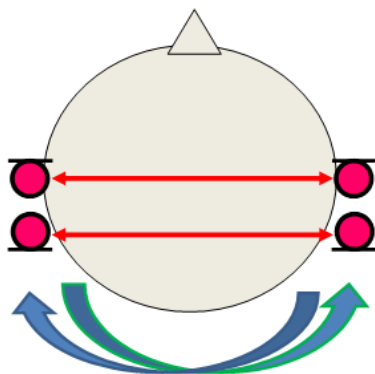


Fig. 4: Microphones placés en parallèle

Si l'utilisateur décide d'utiliser ZoomControl et d'orienter sa focalisation vers la droite, plusieurs événements se produisent simultanément. Le microphone de gauche est atténué afin de ne pas prélever le signal présent à gauche, tandis que le microphone de l'aide auditive droite adopte un réglage assurant la meilleure perception possible des signaux venant de la droite. Les signaux prélevés par l'aide auditive droite sont transmis sans fil, en temps réel, dans l'appareil gauche où ils sont amplifiés avec le modèle de gain requis à gauche. Par conséquent, l'utilisateur entend les signaux optimisés venant de la droite dans les deux oreilles, à un niveau approprié. L'effet est remarquable: l'utilisateur bénéficie d'une focalisation comparable à ce qu'il aurait avec un système directionnel traditionnel, mais elle est orientée du côté choisi. ZoomControl est un programme indépendant, activé par le commutateur embarqué ou par une télécommande. Jusqu'à présent, l'utilisateur devait sélectionner la direction de focalisation et la modifier manuellement si la situation changeait. Cette innovation exclusive de Phonak est devenue encore plus sophistiquée dans la Génération Spice. Désormais,

quand l'utilisateur veut focaliser son audition dans une direction autre que frontale, il lui suffit de sélectionner le programme auto ZoomControl. A partir de là, les aides auditives sélectionnent la direction du signal vocal dominant et ajustent automatiquement la direction de focalisation si et quand la direction de la source sonore change.

### Réseaux de microphone

Les configurations microphoniques complexes utilisant de nombreux microphones sont très répandues en pratique. Avec les technologies informatiques modernes, ces réseaux de microphone permettent de détecter et de suivre avec précision pratiquement n'importe quelle source sonore mobile. Bien que de tels réseaux ne soient pas réalisables dans les aides auditives, les possibilités qu'ils offrent intéressent à la fois les professionnels de l'audition et les ingénieurs de développement. La figure 5 présente une configuration simple avec laquelle une personne peut «voir» acoustiquement dans n'importe quelle direction. Convenablement connectés, les microphones simples (M1 à M4) donnent les directions Z1 à Z4. Si les microphones M2 à M4 sont connectés à un microphone «virtuel» M5, la direction Z5 est aussi acquise. On voit bien que cette configuration de microphones permet de se focaliser dans n'importe quelle direction. Malheureusement, des contraintes de taille et de place interdisent son utilisation dans les aides auditives.

Ces idées sont toutefois à la base du développement d'un focalisateur perfectionné dans les aides auditives. Le fait est que, quand les deux oreilles sont appareillées, quatre microphones sont disponibles. Pourquoi donc ne pas les utiliser pour développer une caractéristique directionnelle qui représente une amélioration par rapport aux systèmes actuels?

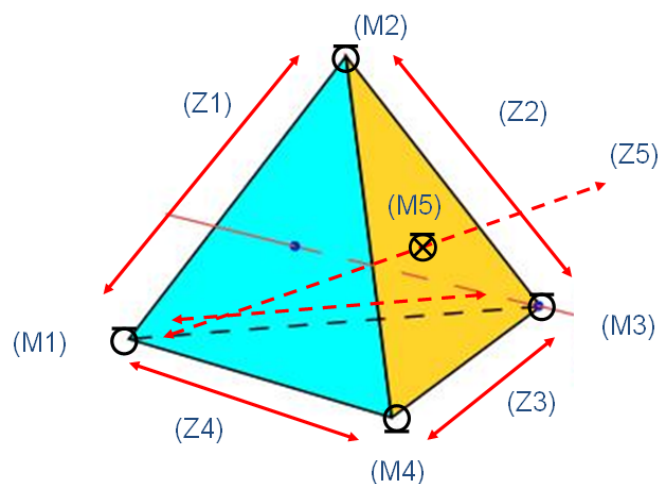


Fig. 5: Configuration théorique de microphones (M) composant un réseau qui permet une focalisation précise dans n'importe quelle direction (Z).

### StereoZoom – le nouveau réseau de microphones reliés par la technologie sans fil

Une configuration tridimensionnelle des microphones n'est pas aussi importante dans les aides auditives, car la plupart des événements sonores significatifs ont lieu dans un plan autour de nous. On peut donc utiliser la configuration bien

connue des microphones dans les aides auditives, qui permet de créer des caractéristiques directionnelles au niveau des signaux. L'idée fondamentale du nouveau système StereoZoom de Phonak est d'exploiter la structure du réseau. Ceci est réalisé en connectant les microphones de chaque aide auditive par une technologie sans fil, c'est-à-dire que les systèmes de doubles-microphones de chaque côté sont interconnectés entre eux. En pratique, cela permet de créer un nouveau modèle de focalisation, plus «pointu» qu'auparavant et qui offre un bien meilleur RS/B (figure 6). Le processus de focalisation dans les graves est encore amélioré grâce à l'éloignement des microphones. En même temps, le zéro du faisceau peut-être déplacé beaucoup plus loin vers l'avant, dans la zone des  $\pm 45^\circ$ , ce qui produit un faisceau très étroit et offre le potentiel d'un RS/B plus favorable. La figure 6 montre comment fonctionne cette configuration dans une situation de parole dans le bruit. Avec un système de focalisation conventionnelle, les voix des trois sujets (représentés par des icônes de lèvres) dans la zone située en face de l'auditeur seraient amplifiées de la même façon. Si l'auditeur ne veut entendre qu'un seul de ces trois orateurs, les deux autres seront gênants s'ils parlent entre eux. Avec StereoZoom, il est maintenant possible de rétrécir le faisceau de focalisation sur un seul sujet, permettant maintenant à l'auditeur de se concentrer totalement sur la conversation.



Fig 6: Le faisceau des microphones directionnels monauraux est large vers l'avant (faisceau gris). StereoZoom crée un faisceau très focalisé à l'avant (vert) permettant de se concentrer sur une seule voix dans une foule.

### Position du programme

Plus de cinq années d'essais cliniques réalisés pendant le développement de StereoZoom ont montré qu'il n'était pas très judicieux d'intégrer StereoZoom dans le mode automatique d'une aide auditive. L'effet du faisceau directionnel très étroit de StereoZoom ne convient qu'à des situations d'écoute très spécifiques, dans lesquelles un auditeur souhaite se concentrer sur un seul orateur parlant dans un bruit ambiant. StereoZoom est donc disponible dans un programme indépendant qui peut être activé par l'utilisateur quand il en a besoin, soit via le commutateur de programme de ses aides auditives ou par télécommande. Il est destiné à être utilisé dans des environnements d'écoutes complexes et difficiles où les systèmes microphoniques conventionnels sont insuffisants.

### Nouvelle technologie de puce électronique

La focalisation binaurale avec StereoZoom n'est devenue possible que grâce à la technologie de traitement du signal sophistiquée et à la capacité de diffusion large bande, en temps réel, du signal audio entre les aides auditives. Cette fonctionnalité sans fil et ce traitement du signal uniques seront délivrés par la toute récente puce de traitement audio. StereoZoom est disponible dans toutes les aides auditives sans fil haut de gamme de la Génération Spice de Phonak.

### Résumé

Phonak continue à entretenir sa position de leader dans le domaine de la technologie des microphones directionnels. Avec StereoZoom, une autre étape importante a été franchie dans le développement des technologies de focalisation; elle va bien au-delà des technologies de microphones directionnels conventionnelles disponibles dans la plupart des aides auditives. L'objectif était de construire un réseau de microphones qui utilise non seulement les deux microphones de chaque aide auditive de façon indépendante, mais qui crée aussi un réseau microphonique avec les deux aides auditives d'un appareillage binaural. Ceci permet de créer de nouveaux modèles de focalisateurs très étroits et de les appliquer à des environnements spécifiques, particulièrement difficiles. En reliant sans fil les aides auditives et en échangeant en temps réel les signaux audio, il est désormais possible de rétrécir le faisceau pour le concentrer sur un sujet particulier, réduisant ainsi les interférences qui proviennent non seulement de l'arrière et des côtés mais également, pour la première fois, de l'avant dans une zone proche de la direction frontale.

Cette nouvelle ère de la focalisation binaurale est devenue possible grâce à l'incroyable capacité de la nouvelle plateforme Spice qui offre des performances de loin supérieures aux plateformes existantes. StereoZoom est un programme indépendant activé par l'utilisateur quand il en a besoin, soit avec le bouton-poussoir de son aide auditive, soit avec sa télécommande. Il offre une directivité frontale améliorée et, de ce fait, un meilleur RS/B dans des situations exceptionnellement difficiles, où les utilisateurs ne pouvaient pas s'en sortir jusqu'à présent avec leurs aides auditives.