



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE



FACULTÉ
DE PHARMACIE
NANCY

Etude comparative des performances de 3 systèmes CROS pour une meilleure compréhension

Mémoire soutenu en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat
d'Audioprothésiste.

Maître de mémoire : Anne GRINBERG

SABBAH Liorah

Année 2017

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ma maître de stage et maître de mémoire, Madame Anne GRINBERG audioprothésiste au sein d'Acuitis à Italie II qui m'a accueilli au sein de son laboratoire et permis d'effectuer mes tests de mémoire dans les meilleures conditions.

Je la remercie vivement de m'avoir fait part de son expérience et de ses conseils.

Evidemment, je remercie énormément l'ensemble des patients qui ont accepté et pris le temps de participer à mon étude.

Je remercie également Monsieur Joël DUCOURNEAU, Madame le Professeur Cécile PARIETTI WINKLER, Madame le professeur Pascal FRIANT-MICHEL, Madame Sylvie GRIFFOND et les autres intervenants pour leur disponibilité, leurs conseils, leur enseignement particulièrement instructif et leur dévouement.

Sommaire

Introduction	5
PARTIE THEORIQUE	3
I. L'audition binaurale et stéréophonie	4
1. La localisation spatiale	4
2. La sonie	12
3. Discrimination en milieux bruyants	13
II. Le cerveau auditif	14
1. Le nerf auditif	14
2. Les voies auditives centrales	14
III. La surdité unilatérale	16
1. Conséquences de la surdité unilatérale	18
2. Réhabilitation de la surdité unilatérale	19
IV. Le système CROS (Controlateral Routing Of Signal)	21
1. Historique	21
3. Conditions d'indications	23
4. Présentation et principe de fonctionnement	24
V. Les systèmes CROS proposés aujourd'hui par les fabricants	26
1. La marque Phonak	26
2. La marque Widex	28
3. La marque Hansaton	29
PARTIE EXPERIMENTALE	31
I. Présentation de l'étude et de ses objectifs	32

II. Matériel et méthodes utilisés	32
1. Critères de sélection des patients	32
2. Conditions matérielles	35
III. Protocole des tests utilisés	37
1. Anamnèse	37
2. Audiométrie tonale	37
3. Seuil d'inconfort	38
4. Audiométrie vocale dans le silence (AVS)	38
5. Audiométrie vocale dans le bruit (AVB)	39
6. Localisation sonore spatiale	40
IV. Les limites du protocole utilisé	42
V. Résultats	43
1. Compréhension dans le silence	44
2. Compréhension dans le bruit	46
3. Comparaison en fonction des erreurs phonétiques	48
4. Localisation sonore spatiale	49
VI. Discussion	52
VII. Conclusion	56
VIII. Bibliographie	59

Introduction

Parmi toutes les pathologies de l'audition, la surdité unilatérale est une surdité très spécifique qui implique des mécanismes physiologiques qui vont au-delà de la l'atténuation de perception des sons. Une des voies de réhabilitation de la surdité unilatérale est le système CROS aérien ou osseux, soit par appareillage dit conventionnel ou prothèses auditives soit par implant dit BAHA (Bone Anchored Hearing Aid). Suivant la configuration audiométrique, différents systèmes sont à notre disposition pour apporter la meilleure réhabilitation.

Le système CROS permet de capter un signal du côté de l'oreille dite cophotique (ou moins bonne oreille) pour le transmettre à l'oreille saine (ou meilleure oreille). Si les premiers systèmes CROS consistait à réaliser ce transfert par voie filaire, aujourd'hui la majorité des fabricants d'aides auditives conventionnelles propose des systèmes CROS aériens sans fil. Le système posé du côté de l'oreille cophotique se résume en un simple microphone de captation.

Depuis fin 2015, un nouveau type de système CROS a été développé, le premier par la société Hansaton. Il a été appelé système tricros. En effet, le système posé côté oreille cophotique ne comprend plus un simple microphone mais une aide auditive à part entière qui est programmée pour cette nouvelle fonction dans un programme supplémentaire en système CROS.

L'objectif de cette étude est de comparer ce nouveau dispositif aux systèmes CROS jusqu'ici disponibles sur le marché et d'en analyser les bénéfices pour le patient. En fonction des résultats, s'ils s'avèrent intéressants, les patients atteints de surdité unilatérale pourraient bénéficier d'un nouveau type de correction.

Ce mémoire s'intitule : Etude comparative des performances de trois systèmes CROS pour une meilleure compréhension.

Le présent mémoire est constitué d'une partie théorique et d'une partie pratique.

Dans la première partie, nous allons décrire les notions essentielles liées à l'audition binaurale et la stéréophonie. Ensuite, nous expliquerons les conséquences et la réhabilitation de la surdité unilatérale. Enfin, nous présenterons les différents systèmes CROS étudiés.

Dans la partie pratique, après avoir décrit le protocole des tests effectués sur nos patients, une étude expérimentale est présentée afin de déterminer le système CROS le plus performant.

La conclusion va nous permettre de répondre à cette question et d'émettre une hypothèse.

PARTIE THEORIQUE

I. L'audition binaurale et stéréophonie

L'audition binaurale correspond à l'audition simultanée par les deux oreilles. Au-delà de la fonction auditive, l'audition binaurale permet de mettre en jeu des mécanismes qui sont spécifiques à cette fonction. Elle permet :

- Une localisation spatiale,
- Une augmentation de la sonie,
- Une discrimination en milieux bruyants.

1. La localisation spatiale

La localisation spatiale se réfère à la capacité, pour un auditeur, à identifier l'emplacement ou l'origine de la source sonore ainsi que sa direction et son éloignement.

Les principaux indices qui permettent cette localisation sont les suivants :

- Dans le plan horizontal, les principaux indices utilisés résultent des différences de phase et de niveau des signaux parvenant aux deux oreilles.
- Dans le plan vertical, les principaux indices utilisés résultent de la modification d'un son par la tête, le torse et l'oreille externe d'un auditeur.

Ces paramètres permettent d'expliquer l'effet « cocktail ». Ce dernier correspond à une situation bruyante dans laquelle nous sommes capables de suivre une conversation. Cette aptitude aide à améliorer le rapport signal/bruit et donc à localiser précisément la source d'un son.

Les principaux indices utilisés dans le plan horizontal et vertical sont ainsi détaillés dans les deux prochaines parties. [1 ; 2]

a. Localisation dans le plan horizontal

➤ La Différence Interaurale de Temps ou ITD (Interaural Time Difference)

Elle se produit lorsque la source sonore n'est pas située à égale distance des deux oreilles, cela entraîne donc une différence dans les temps d'arrivée du son qui est due à la différence de distance à parcourir par l'onde sonore pour atteindre l'oreille la plus éloignée.

Un retard et un déphasage se créent du côté de l'oreille la plus éloignée.

En assimilant la tête de l'auditeur à une sphère, on déterminera le retard en fonction de l'azimut pour une source sonore faisant un angle Θ avec l'axe de symétrie de la tête.

La distance d à parcourir pour que l'onde contourne la tête est la somme d'un segment de droite de longueur d_1 et d'un arc de cercle de longueur d_2 . [3]

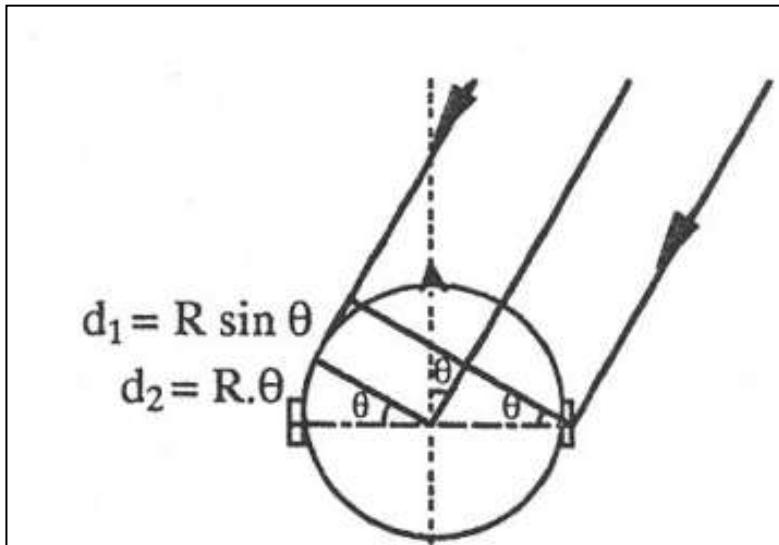


Figure 1 : Source sonore faisant un angle avec l'axe de symétrie de la tête.

La différence interaurale de temps : $\Delta t = \frac{d_1+d_2}{c} = \frac{R}{c} (\sin \Theta + \Theta)$

- Lorsque la source sonore se situe en face (aux azimuts 0° ou 180°), elle est alors équidistante des deux oreilles, il n'y a pas de différence interaurale de temps, elle vaut zéro.

- Lorsque la source sonore sera à 90° , l'ITD sera maximale.

La célérité du son vaut 340 m/s et la distance interauriculaire estimée à 21,5 cm donc $R=0,1075$ et $\Delta t = \frac{0,1075}{340} \left(1 + \frac{\pi}{2}\right) = 0.81\text{ms}$.

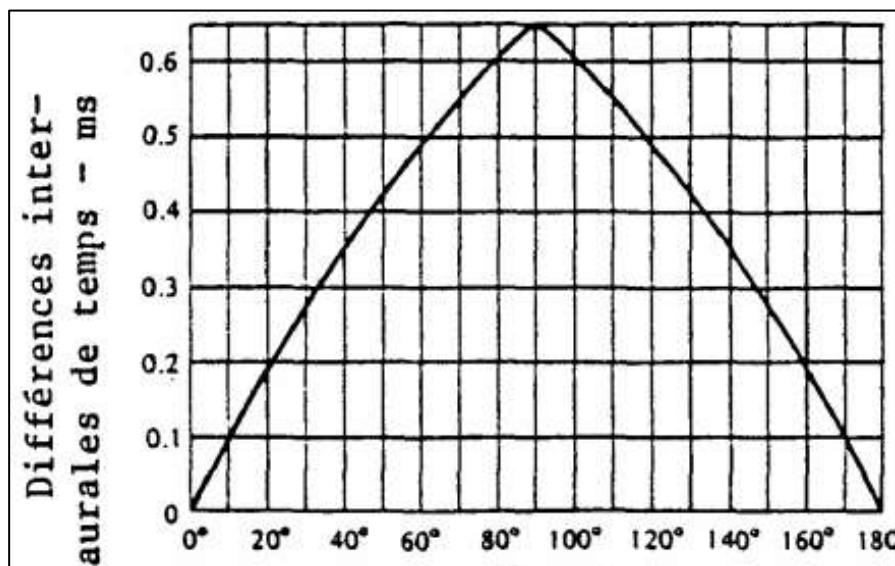


Figure 2 : Différence interaurale de temps en fonction de l'azimut de la source sonore.

Les différences interaurales de temps entraînent des différences interaurales de phase (déphasage $\Delta\varphi$) qui dépendent de la fréquence.

D'après la formule : $\lambda = \frac{c}{f}$ (avec λ : la longueur d'onde, c : la célérité du son et f : la fréquence)

Sachant que la distance interaurale vaut en moyenne 21,5 cm et que $c= 340\text{m/s}$. La fréquence vaut donc 1581 Hz et la durée maximale qu'un son met pour passer d'une oreille à l'autre est de 0,81ms environ.

Fréquence (Hz)	Longueur d'onde (m)	Différence de marche (m)	Différence de phase (degré)
125	2,752	0,224	29,3°
250	1,376	0,224	58,5°
500	0,688	0,224	117°
1 000	0,344	0,224	234°
1 500	0,229	0,224	351°
2 000	0,172	0,224	468°
2 500	0,138	0,224	585°
3 000	0,115	0,224	702°
4 000	0,086	0,224	936°

Figure 3 : Influence de la longueur d'onde et de la fréquence sur la différence de phase.

C'est un indice fondamental pour localiser les sons dont la fréquence est inférieure à 1500 Hz (ils ont une longueur d'onde supérieure à la distance interaurale). Au-dessus de 1500 Hz, la différence de phase devient ambiguë car elle est supérieure à 360°.

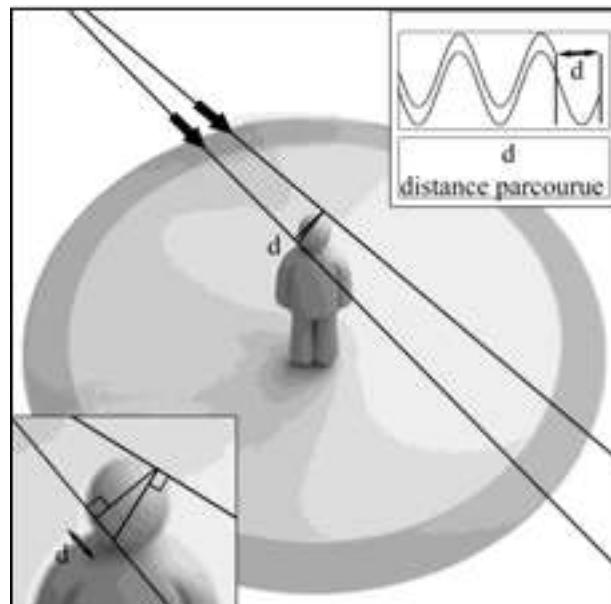


Figure 4 : Différence de phase.

➤ La Différence Interaurale de Niveau ou ILD (Interaural Level Difference)

Un second phénomène, la différence de pression acoustique entre les deux oreilles, l'ILD ou encore l'IID (Interaural Intensity Difference) la différence interaurale d'intensité.

Pour une position particulière de la source sonore, la vibration acoustique parviendra avec une intensité différente sur chaque tympan due à la propagation sonore dans l'air. Par exemple, en champ libre le niveau sonore diminue de 6dB par doublement de la distance.

L'ILD dépend donc de la distance séparant la source sonore de l'auditeur :

- Lorsque la source sonore est placée en face, elle est alors équidistante des deux oreilles, il n'y alors pas de différence interaurale d'intensité, elle est nulle.
- Lorsque la source sonore n'est pas placée à égale distance des deux oreilles, l'oreille la plus proche de la source percevra un niveau sonore plus important.

Cette mesure est principalement influencée par l'effet d'ombre de la tête.

On considère un ILD de 6,4 dB en moyenne pour le spectre de la parole.

En son pur, cela dépend principalement de la longueur d'onde, mais elle varie de 3 dB à 20 dB pour des fréquences allant respectivement de 500 Hz à 6000 Hz.

Jusqu'à 500 Hz, ces phénomènes sont négligeables car la longueur d'onde des basses fréquences est très supérieure à la taille de la tête. Le son est alors diffracté et contourne la tête.

Lorsque la fréquence est plus élevée, le son subit des réflexions qui engendrent une différence interaurale d'intensité.

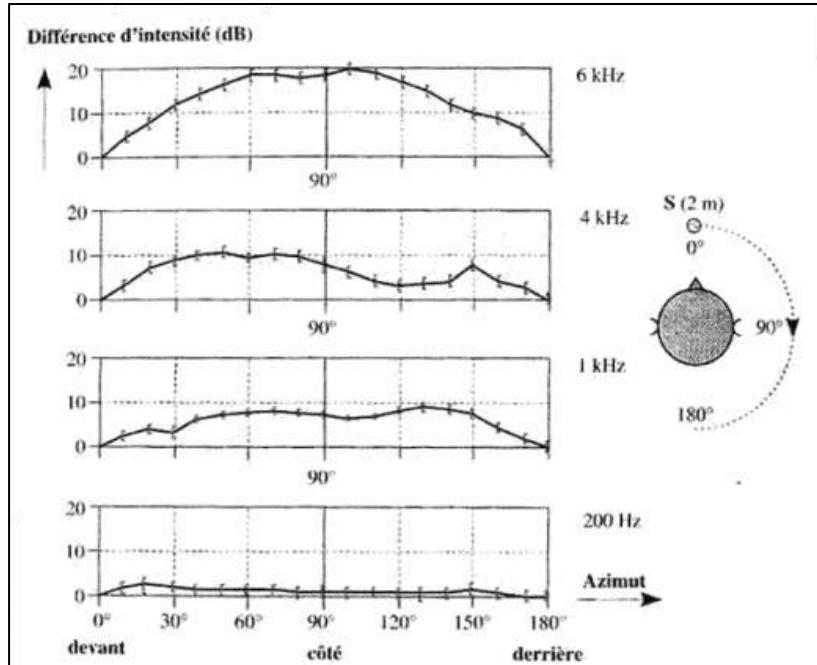


Figure 5 : Différence interaurale d'intensité en fonction de l'azimut pour 4 fréquences (200Hz, 1000 Hz, 4000 Hz et 6000 Hz)

La figure 5 montre, par exemple, pour un son provenant à 90°, la différence d'intensité est environ de 20 dB à 6000 Hz alors qu'à 1000 Hz elle est de 7 dB.

C'est donc un indice fondamental pour localiser les sons dont la fréquence est supérieure à 1500 Hz. Lorsqu'elle est inférieure, l'ILD est quasi inexistante.

⇒ Ainsi l'association de l'ITD et l'ILD permet une localisation relativement précise dans le plan horizontal. Néanmoins, il existe une zone de confusion qui correspond aux azimuts 0° et 180° pour lesquels l'ITD et l'ILD sont quasi identiques.

L'effet d'ombre de la tête

La tête représente un obstacle à l'arrivée du son incident, qui rend différent le son parvenant à chaque oreille. L'onde sonore va être plus ou moins arrêtée, retenue ou déformée par l'obstacle « tête ». [4]

Cette ombre acoustique va faire baisser l'intensité du son arrivant à l'oreille controlatérale.

Les ondes de fréquences inférieures à 300 Hz (petite fréquence et donc de grande longueur d'onde) contournent facilement la tête par diffraction et atteignent les deux oreilles. A partir de 1500 Hz, l'ombre de la tête va jouer un rôle important, la tête va agir comme un filtre passe-bas.

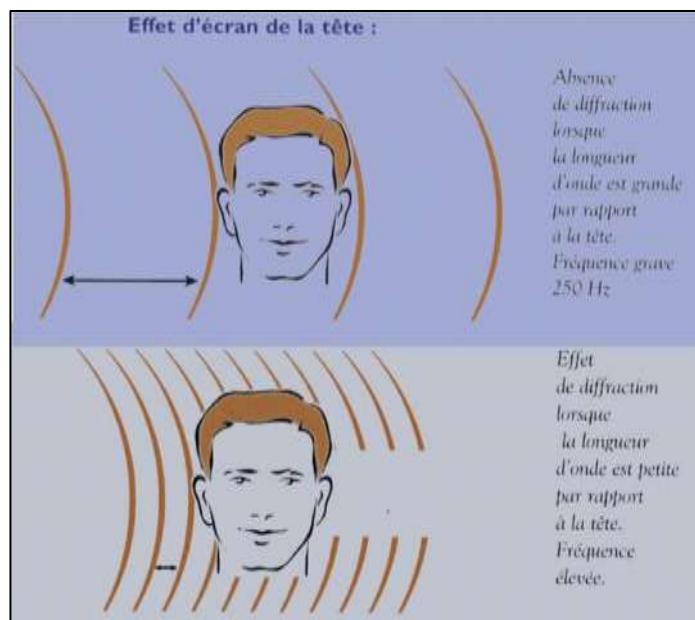


Figure 6 : Effet de la longueur d'onde du signal sur l'atténuation provoquée par le masque de la tête. [4]

L'effet d'ombre de la tête varie selon la fréquence d'émission, avec l'angle formé par l'onde incidente et le plan de symétrie de la tête.

Par contre, pour un son qui arrive latéralement c'est-à-dire lorsque l'onde provient d'un angle de 90° par rapport au plan de symétrie, il faut différencier deux cas selon la fréquence du son incident :

- Si le son est inférieur à 1500 Hz, il n'y a pas de diffraction mais il existe un écart temporel entre les deux sons perçus de chaque côté,
- Si le son est supérieur à 3000 Hz, il existe un effet de diffraction pour le son qui arrive sur l'oreille controlatérale, et donc une différence fréquentielle qui renseigne sur l'angle d'arrivée du son incident initial,
- Si le son est compris entre 1500 Hz et 3000 Hz, il existe un mélange des deux phénomènes, et donc une moindre précision d'analyse,
- Lorsque le son incident est placé devant ou derrière le sujet, la localisation du son est difficile car les deux oreilles reçoivent le message à peu près au même moment.

b. Localisation dans le plan vertical

La localisation verticale est possible grâce aux réflexions et résonnances qui se produisent au sein du pavillon et du conduit auditif externe jusqu'à la membrane tympanique.

Le pavillon va réfléchir les fréquences aigues car la longueur d'onde est inférieure aux dimensions de l'oreille externe. En effet les ondes incidentes réfléchies par le pavillon interfèrent avec le conduit auditif externe et vont ainsi créer des pics et creux spectraux. La fréquence avec laquelle ces pics et ces creux spectraux vont apparaître va donner des indications précises sur l'origine de la source sonore dans le plan vertical. [5 ; 6]

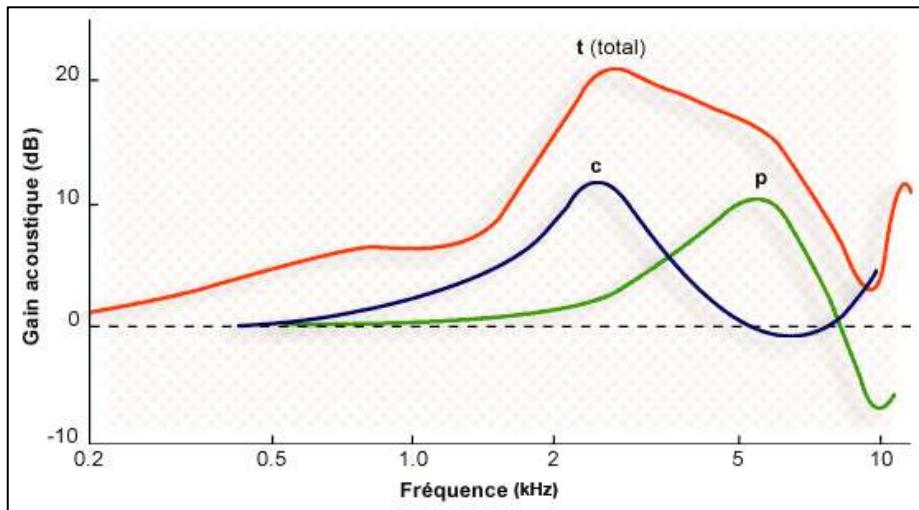


Figure 7 : Effet du pavillon (p, vert), du conduit auditif externe (c, bleu), de l'ensemble de l'oreille externe, donc du pavillon et du conduit (t, rouge), sur l'amplitude de la vibration sonore pour l'azimut 45° dans le plan horizontal. [6]

La figure 7 explique le gain acoustique également appelé fonction de transfert de l'oreille externe. Ce graphique étant simplifié, il ne présente pas des pics et creux spectraux.

La localisation verticale est moins précise que la localisation horizontale. [6]

2. La sonie

La sonie [7] d'un son pur est l'intensité perçue de ce son. Elle est déterminée par un niveau de pression acoustique à une fréquence donnée.

Le phone est une unité de la sonie. Par définition, la valeur de 1 sone représente la sonie d'un son de 1000 Hz à un niveau de 40 dB.

Pour des niveaux supérieurs à 40 phones, on relie le phone P au sone S par la relation :

$$S = 2(\text{ph}-40)/10$$

10 dB de plus à 1000 Hz reviennent à doubler la sensation sonique.

Elle présente la particularité de dépendre directement du caractère monaurale ou binaurale de l'audition.

Au niveau du seuil d'audition, les courbes normalisées d'audition monoauriculaires sont de 3 dB plus faibles que lors d'une écoute binauriculaire.

En effet, l'audition binaurale permet une meilleure audition au niveau qualitatif et quantitatif. [8a ; 9]

3. Discrimination en milieux bruyants

Sargent et al (2001) a montré que dans le cas extrême d'une cophose unilatérale le patient n'avait que très peu de conséquences sur les performances audiologiques dans un milieu calme, par contre la présence de bruit dégradait fortement ses performances [4].

Je poursuivrai en expliquant l'intégration de l'information auditive par le cerveau et son rôle dans la localisation spatiale.

II. Le cerveau auditif

1. Le nerf auditif

Le nerf auditif **[18]** aussi appelé nerf cochléo-vestibulaire est le huitième nerf crânien formé par :

- le nerf cochléaire,
- le nerf vestibulaire supérieur,
- le nerf vestibulaire inférieur.

Il est responsable de l'audition et de l'équilibre.

2. Les voies auditives centrales

Les voies auditives périphériques ont pour rôle la détection et le codage de l'information sonore en potentiels électriques alors que les voies auditives centrales sont responsables de l'interprétation de l'information sonore.

Les structures cérébrales permettent de fusionner les informations venant de chaque oreille en une seule information. Cette fusion entraîne la localisation de la source sonore grâce au partage des informations venant des deux oreilles et à la différence interaurale de temps et d'intensité produit systématiquement par la différence de distance entre la source et chaque récepteur.

a. La voie auditive primaire

Elle est composée de plusieurs relais neuronaux qui véhiculent l'information codée par la cochlée au cortex auditif. **[11 ; 12]**

Chacun des relais neuronaux effectue un travail spécifique qui est ensuite transmis aux relais supérieurs (Figure 8) :

- Les noyaux cochléaires du tronc cérébral qui sont responsables du décodage de la base du message. Ils analysent la durée, l'intensité et la fréquence du signal.

- Le complexe olivaire supérieur et le colliculus supérieur jouent un rôle essentiel dans la localisation sonore spatiale.
- Le corps genouillé médian (thalamus), dernier relai avant le cortex, est responsable de l'intégration sensori-motrice.
- Le cortex auditif où le message décodé est reconnu et mémorisé.

Le complexe olivaire supérieur est le premier relais où convergent et où sont intégrées des informations bilatérales issues des noyaux cochléaires. **[18]**

Il est composé de :

- l'olive supérieure latérale en s'appuyant sur des indices de localisation représentés par la différence interaurale d'intensité prédominant pour les hautes fréquences et de,
- l'olive supérieure médiane en s'appuyant sur des indices de localisation représentés par la différence interaurale de temps prédominant pour les basses fréquences. **[11]**

b. La voie auditive non primaire ou secondaire

La voie auditive non primaire est située après le premier relais commun à la voie auditive primaire : les noyaux cochléaires. (Figure 8)

Plusieurs relais sont situés au niveau du mésencéphale et dans la formation réticulée du tronc cérébral afin de traiter les informations en priorité par le cerveau.

La voie non-primaire aboutit donc au thalamus non spécifique puis au cortex polysensoriel. **[11 ; 12]**

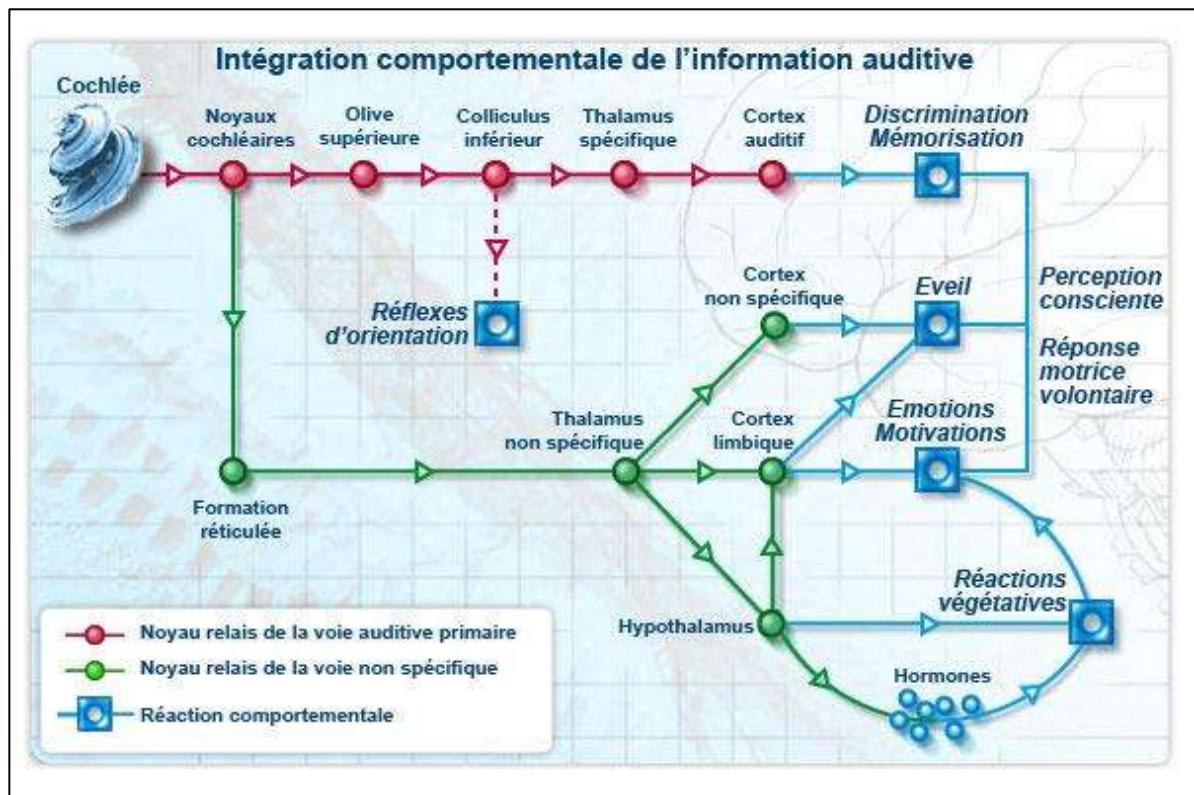


Figure 8 : Schéma des voies auditives

III. La surdité unilatérale

La surdité est dite unilatérale [10] lorsque l'atteinte est seulement d'un côté avec une perte auditive profonde à totale. L'oreille controlatérale ayant une audition normale ou subnormale. Il y a donc un déséquilibre profond entre les deux oreilles.

Les surdités unilatérales ont des étiologies diversifiées. On distingue les surdités de perception unilatérales acquises ou congénitales.

- La surdité acquise apparaît après la naissance. Ses causes sont diverses.

Elle peut être due suite à :

- Une infection virale telle que la méningite, rubéole, oreillons ;
- Une infection bactérienne telle qu'une labyrinthite d'origine otique ;
- Une infection chronique de l'oreille ;
- Un traumatisme crânien ;
- Une tumeur telle que le neurinome de l'acoustique ;
- Une ototoxicité médicamenteuse comme les antibiotiques ;
- Des otites à répétition ;
- Une exposition professionnelle bruyante : bruit de machines

- La surdité congénitale touche les nouveaux nés ou les nourrissons.
 - Surdité de transmission congénitale unilatérale peut être due à une aplasie majeure ou mineure de l'oreille, du conduit auditif externe ou à différents syndromes (par exemple, le syndrome d'Usher)
 - Surdité de perception congénitale unilatérale résulte d'une atteinte cochléaire, neurologique ou centrale.

Chez l'adulte, après la survenue d'une surdité unilatérale, il faut rechercher systématiquement une atteinte rétrocochléaire. La prise en charge diffère en fonction de l'atteinte et des antécédents médicaux.

Les professionnels de santé qui en charge ce type de patient, doivent l'aider d'un point de vue psychologique (l'accompagnement à surmonter cette épreuve de « deuil ») mais doivent également l'aider à limiter les conséquences de son handicap.

Après avoir exposé les causes de cette déficience auditive, il semble primordial de développer les conséquences et la réhabilitation de la surdité unilatérale.

1. Conséquences de la surdité unilatérale

L'âge d'apparition de la surdité est un point très important à prendre en compte (avant ou après l'apparition du langage). Par exemple, chez l'enfant, si la surdité apparaît avant l'apparition du langage, elle provoque un retard significatif du développement du langage, une mauvaise articulation, des difficultés sociales et scolaires, etc ...

C'est pour cela qu'il faut la prendre en charge la plus précocement possible avec une aide pédagogique et orthophonique.

La surdité unilatérale fait perdre les bénéfices de l'audition binaurale et donc engendre des difficultés pour le patient :

- une perte de l'effet stéréophonique :

La captation des sons ne se fait plus par les deux oreilles, l'audition est donc moins naturelle,

- Des difficultés à localiser une source sonore :

Etant donné le déséquilibre entre les deux oreilles, tous les indices acoustiques sont perturbés, le patient doit tourner la tête pour détecter l'origine de la source sonore.

- Des difficultés à suivre une conversation en milieux bruyants :

En milieux bruyants, le démasquage de la parole diminue voir disparaît chez les personnes souffrant d'une surdité unilatérale et conduit à l'isolement de la personne dans des situations quotidiennes (repas de famille, restaurant, réunions de travail ...).

- Des difficultés de compréhension lorsque la source sonore provient du côté cophotique :

La tête constitue un écran pouvant provoquer une atténuation jusqu'à 20 dB.

Ces conséquences varient en fonction du degré de la perte auditive, de l'étiologie et surtout du milieu dans lequel le patient évolue.

Ces difficultés peuvent mener à l'isolement par manque de compréhension, la fatigabilité, le stress, l'agacement, la frustration mais également l'attention est mobilisée par l'écoute et la compréhension...

La surdité unilatérale a également des conséquences physiologiques, elle entraîne une modification d'activation du cortex auditif. Une oreille unique réorganise les voies auditives centrales.

Lors de mes différents entretiens avec les sujets de mon étude, les patients se plaignaient le plus souvent de la compréhension en milieux bruyants. Les patients devaient bien se positionner face aux interlocuteurs afin d'avoir la source sonore du côté de la meilleure oreille ce qui n'est pas toujours facile à mettre en place surtout lors des réunions.

2. Réhabilitation de la surdité unilatérale

La surdité unilatérale est généralement réhabilitée à l'aide d'un système CROS aérien sans fil ou à ancrage osseux.

Cependant, différentes solutions existent en fonction du degré de surdité du côté le plus atteint pour y pallier :

- **Si l'oreille la plus atteinte présente une perte d'audition légère à sévère de stade II**, l'appareillage conventionnel est possible afin de rétablir un équilibre entre les deux oreilles. Plus la perte auditive sera élevée, plus l'appareil devra être puissant afin de rétablir une écoute stéréophonique.
- **Si l'oreille la plus atteinte présente une surdité profonde voire totale (cophotique)**, l'audioprothésiste ne pourra pas rééquilibrer les deux oreilles avec un appareillage conventionnel, la perte étant trop importante. De ce fait, il est préconisé un appareillage en conduction aérienne appelé CROS (Controlateral Routing Of Signal) ou en conduction osseuse. Le but étant de transmettre les sons arrivant du côté cophotique à la meilleure oreille.

Cependant, l'appareillage à ancrage osseux peut également être indiqué pour une réhabilitation de cophose unilatérale si l'ORL le prescrit.

La prothèse auditive à ancrage osseux nécessite un vibrateur ostéo-intégré.

Il est composé :

- d'une prothèse (processeur),
- du pilier de la prothèse fixé à l'implant,
- d'un implant en titane.

Le processeur capte les sons dans l'air puis les transforme en vibrations et envoie ces dernières à l'implant via le pilier. L'implant transmet directement les vibrations à l'oreille interne à travers l'os de la mastoïde.

Il est commercialisé par Cochlear : BAHA et par Oticon : Ponto.

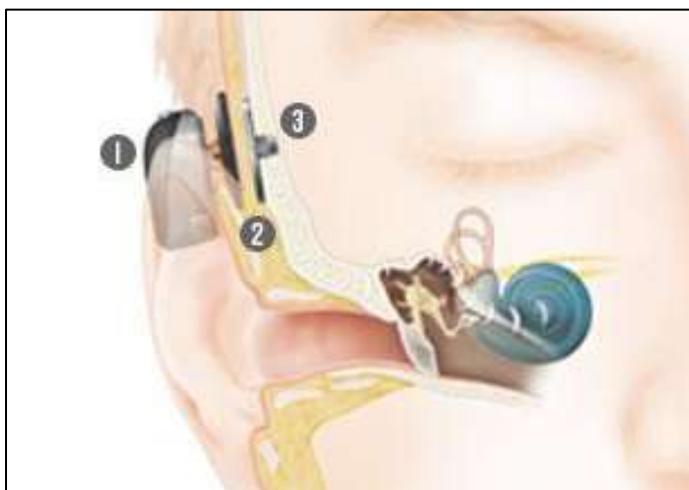


Figure 9 : Prothèse à ancrage osseux

Dans certains cas, elle sera la seule solution possible :

- Otite moyenne chronique avec otorrhée,
- Otite externe chronique,
- Agénésie du conduit auditif externe.

Dans le cadre de cette étude, nous avons sélectionnés seulement les patients appareillés avec un système CROS en conduction aérienne. Je poursuivrai en détaillant son historique, ses conditions d'indication et son principe. Puis, les systèmes CROS proposés par certains fabricants aujourd'hui.

IV. Le système CROS (Controlateral Routing Of Signal)

1. Historique

Les premiers systèmes CROS ont été développés par Harford et Berryen 1965. Il est constitué d'un microphone placé au dessus de l'oreille atteinte. Le signal est transmis à l'oreille controlatérale par un tube classique placé dans le conduit auditif externe. Cependant, ces systèmes CROS ne pouvaient délivrer une amplification que sur la bande passante 800 Hz - 1500 Hz. En dessous de 800 Hz, les fréquences n'étaient pas amplifiées car les embouts sur mesure n'étaient pas encore répandus à cette époque. Au dessus de 1500 Hz, le système CROS n'était pas assez performant pour délivrer l'amplification requise. [10 ; 13]

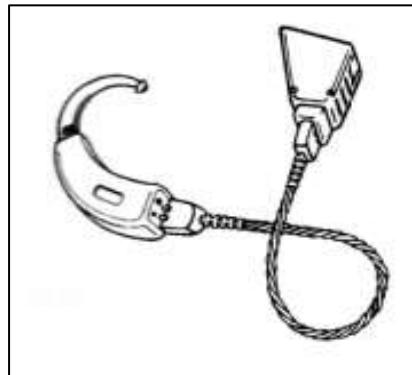


Figure 10 : Adaptateur CROS pour contour d'oreille

J.E. Fournier l'a rendu plus accessible grâce à la lunette auditive avec également une liaison filaire.

Le fil se cachait le long de la monture ou derrière le cou.

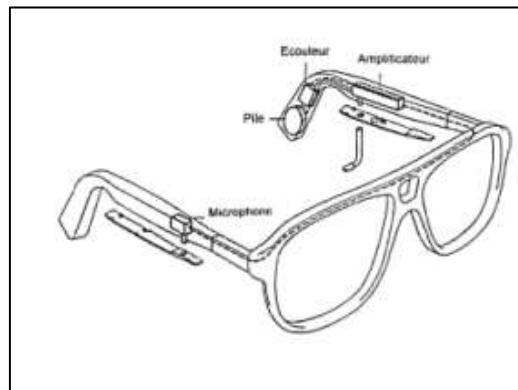


Figure 11 : Système CROS monté sur une lunette

Dans les années 90, SULLIVAN et VALENTE fournissent une amplification importante à l'oreille cophotique pour transmettre le signal à l'oreille controlatérale par vibration transcrânienne en stimulant les liquides de la cochlée normale.

Depuis l'entrée du numérique dans les années 2000, les systèmes CROS bénéficiaient du microphone directionnel et d'une bobine téléphonique. Malgré les innovations, la liaison filaire était toujours présente.

En 2008, le fabricant Interton (aujourd'hui racheté par GN Group) met fin à ce problème en lançant la première aide auditive CROS sans fil numérique appelé RELAY mais il entraînait des micros coupures en fonction de la taille de la tête et des mouvements du malentendant. Se rajoute également le fabricant Unitron avec le CROS Tandem.

Les informations captées par le microphone de l'oreille cophotique sont envoyées à l'oreille controlatérale à l'aide d'un sabot audio récepteur. [14]



Figure 12 : Appareil Relay d'Interton



Figure 13 : Appareil Tandem d'Unitron

Aujourd'hui, tous les systèmes CROS sont sans fil, très esthétiques, n'ont plus besoin de sabot audio et profitent des nouvelles technologies comme :

- l'anti-larsen,
- les réducteurs de bruit,
- les microphones directionnels,
- les systèmes de compression ...

Câblé	AM	HiBAN
		

Figure 14 : Différents modes de transmission du signal sonore avec un système CROS

2. Conditions d'indications

Les systèmes CROS sont indiqués pour les personnes souffrant d'une surdité fortement asymétrique ou présentant une cophose unilatérale, afin de rétablir une écoute binaurale.

Ces personnes ont du mal à comprendre dans des conversations en groupe en milieux bruyants mais également lorsque leurs interlocuteurs sont placés du côté de leur mauvaise oreille.

En effet, les bruits ambiants perturbent l'intelligibilité. Cette difficulté de perception est d'autant plus importante lorsque la meilleure oreille présente également une perte d'audition.

Le système CROS est alors indiqué, également pour les personnes ne voulant pas être opérées pour un ancrage osseux.

3. Présentation et principe de fonctionnement

Le système CROS aérien est une solution non chirurgicale. Utilisé pour les surdités unilatérales sévères à cophotiques, ils sont tous conçus sur le même principe de base depuis Hardford en 1965 :

- L'accessoire CROS, un microphone dans un petit boîtier, placé du côté non appareillable, capte les sons provenant de l'oreille cophotique
- Transmission à l'oreille controlatérale grâce à un système avec ou sans fil
- Une aide auditive réceptrice placée sur la meilleure oreille reçoit les signaux sonores, elle est composée d'un écouteur et d'un amplificateur afin d'atténuer l'effet d'ombre de la tête.

Les systèmes CROS peuvent se combiner à toutes les formes d'appareils auditifs (contours d'oreilles ou intra auriculaires).

Ils peuvent également amplifier les signaux d'entrée comme un appareil conventionnel, dans ce cas là c'est un système BiCROS. [13]

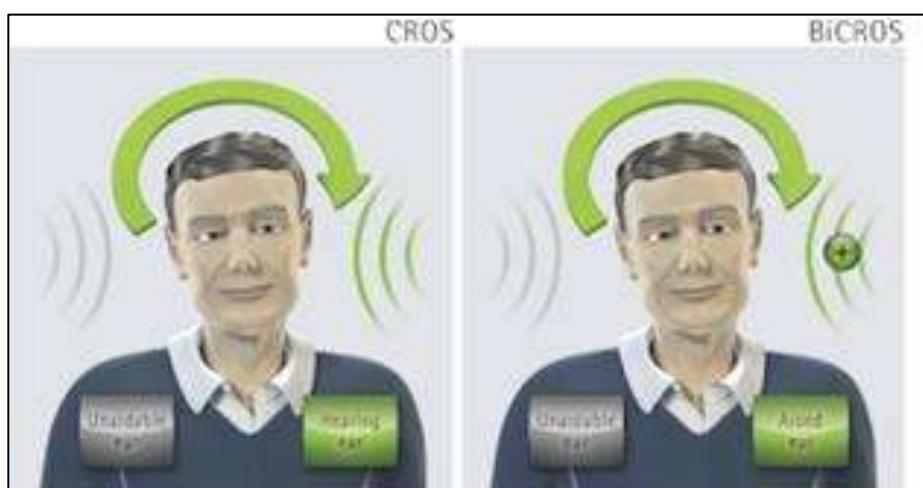


Figure 15 : Différence entre le système CROS et BiCROS

En résumé, le système CROS n'est rien de plus qu'un microphone, qui consiste à acheminer le son de l'oreille cophosée vers l'oreille la plus performante via un embout ouvert pour que l'oreille soit la plus aérée possible afin de conserver l'audition.

L'embout ouvert va permettre de percevoir naturellement les sons graves et amplifier les sons aigus car ceux sont ces derniers qui seront atténués par l'effet d'ombre de la tête.

Alors que le système BiCROS est composé de deux microphones activés étant donné que le malentendant présente une oreille non appareillable et l'autre présentant une perte d'audition. Cette dernière nécessite aussi une correction et peut être adaptée avec un embout fermé s'il le faut avec ou sans évent.

Avec ces systèmes, la personne peut donc comprendre quelque soit la position de son interlocuteur (par exemple en voiture, en réunion, lors d'un repas de famille ...). Cependant, les systèmes CROS et BiCROS ne rétablissent pas l'écoute stéréophonique, l'audition sera seulement bilatérale.

Le remboursement

Dans le cas d'un appareillage avec un système CROS ou BiCROS, l'émetteur est considéré comme un accessoire, la sécurité sociale ne le prend donc pas en charge, il est intégralement au frais du patient alors que l'appareil auditif placé dans l'oreille déficiente dans le cas d'un BiCROS ou dans l'oreille saine dans le cas d'un CROS est remboursé par la sécurité sociale comme un appareil auditif à hauteur de 199,71€ (à 100 %) et par la mutuelle si le patient en a une.

IV. Les systèmes CROS proposés aujourd’hui par les fabricants

La majorité des fabricants proposent de nos jours des systèmes CROS sans fil, en mettant en avant leurs avancées, tels que Phonak, Signia, Starkey, Widex, Hansaton, Unitron ...

L'étude se fera sur la comparaison des performances du système CROS Phonak, Widex et Hansaton qui n'est pas un système CROS proprement dit. Ceux de Starkey et Signia n'ont pas été testés car le lieu de stage ne le permettait pas.

1. La marque Phonak

Phonak est la première marque qui a créé un système CROS basé sur la nouvelle technologie numérique de transmission sans fil à partir de la puce Spice.

Les microphones peuvent être dans des micro-contours ou intra-auriculaires et l'émetteur est compatibles avec toutes les aides auditives de la puce Spice. Ainsi la performance et l'esthétique ont été améliorées. [13]

Cette technologie HiBAN est une technologie de transmission inductive à codage numérique de fréquence porteuse 10,6 MHz, elle transmet le signal audio large bande de l'émetteur CROS placé dans l'oreille cophotique à l'aide auditive placé dans la meilleure oreille.

Il peut s'adapter aussi bien en CROS qu'en BiCROS.

Aujourd’hui, deux nouvelles puces sont apparues, la gamme Venture en 2015 et gamme Belong en 2017. Les innovations technologiques ont permis d'améliorer ce système :

- Il détecte automatiquement la situation dans laquelle le patient se trouve et adapte ses réglages : Sound Flow.
- Il peut se focaliser sur une voix en face pour une meilleure émergence de la parole : Real Ear Sound.

En revanche on perd la souplesse d'adaptation entre les différentes formes d'appareils.
Il n'est plus possible de mettre un RIC d'un coté et un intra de l'autre.

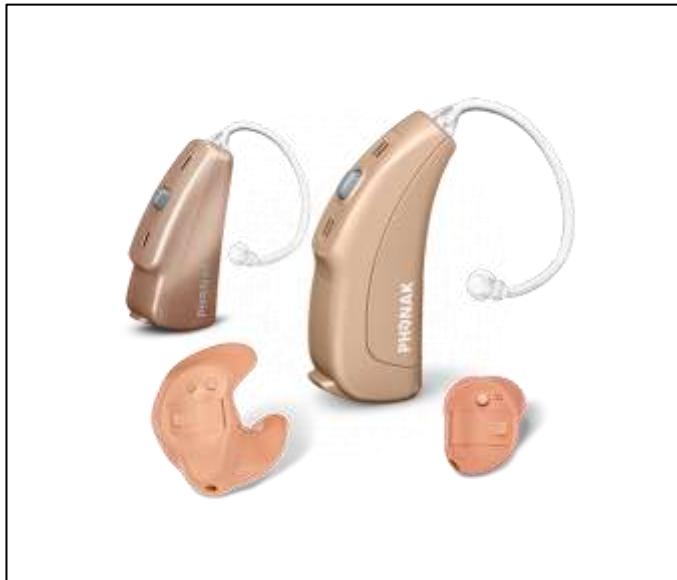


Figure 16 : Différentes représentations de systèmes CROS Phonak.

2. La marque Widex

Widex est une marque danoise qui a développé son système CROS en 2013. Il se décline sous la forme Contour d'oreille aussi appelé Fashion ou encore en micro contour aussi appelé Fusion (Annexes 3 et 4).

Il est disponible en quatre niveaux de puissance 440, 330, 220 et 110. Il peut être adapté en CROS ou BiCROS. [15]

Deux nouvelles puces sont apparues Unique en 2015 et Beyong en 2016.

Les avancées technologiques ont permis :

- d'avoir un système CROS sans fil, discret et utilisant beaucoup moins de batterie que les autres fabricants de systèmes CROS.
- d'analyser et de traiter les sons en temps réel et reconnaît ainsi neuf situations sonores : calme (avec ou sans parole), fête (avec ou sans parole), ville (avec ou sans parole), transport (avec ou sans parole) et musique.
- La puce Beyong bénéficie du Bluetooth 2,4 GHz qui permet: le streaming depuis les produits Apple, une bobine téléphonique et de la technologie W-Link pour la communication interaurale avec les accessoires DEX.



Figure 17 : Système CROS Widex Fusion (à gauche) et Fashion (à droite).

Les appareils Widex sont capables d'enregistrer des signaux d'entrée très faibles à partir de 5 dB SPL jusqu'à des signaux très forts allant jusqu'à 113 dB SPL. Ils sont donc dotés d'une dynamique d'entrée linéaire de 108 dB. [16]

3. La marque Hansaton

Le système « CROS » Hansaton (Annexes 5 et 6) est un système détourné qui est composé de deux appareils traditionnels dont un que l'on peut transformer en CROS. Il est initialement un système de dépannage du groupe Sonova (avec également Phonak et Unitron).

Le but étant de savoir si ce système permet d'obtenir des performances équivalentes à celles d'un système traditionnel.

Procédure pour « créer » un système « CROS » :

- Après avoir détecté les aides auditives,
- Créer un programme téléphone que l'on renomme CROS/BiCROS en décochant la fonction « easy-t ».
- Après avoir activé le « Biphone »,
- L'oreille préférée pour le téléphone sera l'oreille cophosée du patient concerné, paramétrée en omnidirectionnel. Et l'oreille controlatérale sera l'oreille saine paramétrée en Streaming audio + microphone. Elle peut être atténuée jusqu'à 30 dB. (Figure 18)
- On diminue le gain au maximum sur l'oreille cophosée et on l'ajuste sur l'oreille controlatérale.
- On paramètre le bouton poussoir en volume ou sans aucune fonction, en désactivant la fonction Duolink afin d'éviter que le volume augmente du côté de la cophose.
- On met à jour le programme de démarrage en CROS/BiCROS.
- On enregistre le tout
- Puis, on débranche et redémarrent les appareils pour que les réglages prennent effet.



Figure 18 : Paramètres dans le programme CROS.

L'interrupteur easy-t est un interrupteur magnétique qui se déclenche lorsqu'un aimant ou une source électromagnétique est proche de lui.

On le désactive car dans le cadre d'un programme type CROS/BiCROS, avec une transmission audio permanente entre les deux oreilles, on ne veut pas de déclenchement intempestif d'un autre programme. Ce serait potentiellement le cas si nous laissons cet interrupteur opérationnel.

De plus, il en est de même pour la fonction Duolink. Elle permet la communication entre les deux aides auditives des changements de programmes et/ou volume. S'agissant d'un programme avec diffusion audio permanente d'une oreille à l'autre, cette fonction pourrait être perturbée.

Avec ce type de système « CROS » (voir Annexes 5 et 6), nous ne pouvons pas tirer de bénéfices de la directivité variable offerts par deux microphones puisque les aides auditives ne peuvent être qu'omnidirectionnelles dans ce type de réglage.

De plus, les traitements du signal qui dépendent de la directivité seront moins efficaces.

PARTIE EXPERIMENTALE

I. Présentation de l'étude et de ses objectifs

L'objectif est de comparer les résultats des tests d'intelligibilité et de localisation spatiale mis en place pour cette étude.

L'étude a été réalisée sur 12 patients atteints d'une surdité unilatérale ou asymétrique. Malheureusement, seulement 8 patients étaient disponibles pour réaliser les tests de localisation spatiale.

II. Matériel et méthodes utilisés

1. Critères de sélection des patients

L'échantillon de 12 patients a été sélectionné au sein de deux magasins d'Acuitis celui d'Italie II dans le 13^{ème} et celui de Ternes dans le 17^{ème} arrondissement à Paris mais également au sein du laboratoire de Mr Lefevre, mon maître de stage de 2^{ème} année.

Ces patients devaient correspondre aux critères suivants :

- Pas de contre indication au port d'un système CROS,
- Cophose ou sub-cophose unilatérale,
- Le seuil de l'oreille controlatérale doit être compris entre 0 et 60 dB sur la bande fréquentielle 125 à 4000 Hz,
- Le seuil d'intelligibilité en audiométrie vocale en champs libre de la meilleure oreille doit atteindre les 100 % d'intelligibilité qui correspond au maximum d'intelligibilité.

Cependant, trois de nos patients (7, 8 et 12) étant appareillés en système BiCROS.

Le centre Acuitis ne présentait un échantillon assez grand de patients correspondant aux critères précédents. J'ai donc du faire appel à mon maître de stage de deuxième année pour recueillir assez de sujets pour une étude comparative plus représentative.

Graphiques représentants les audiométries tonales de la meilleure oreille de nos 12 patients :

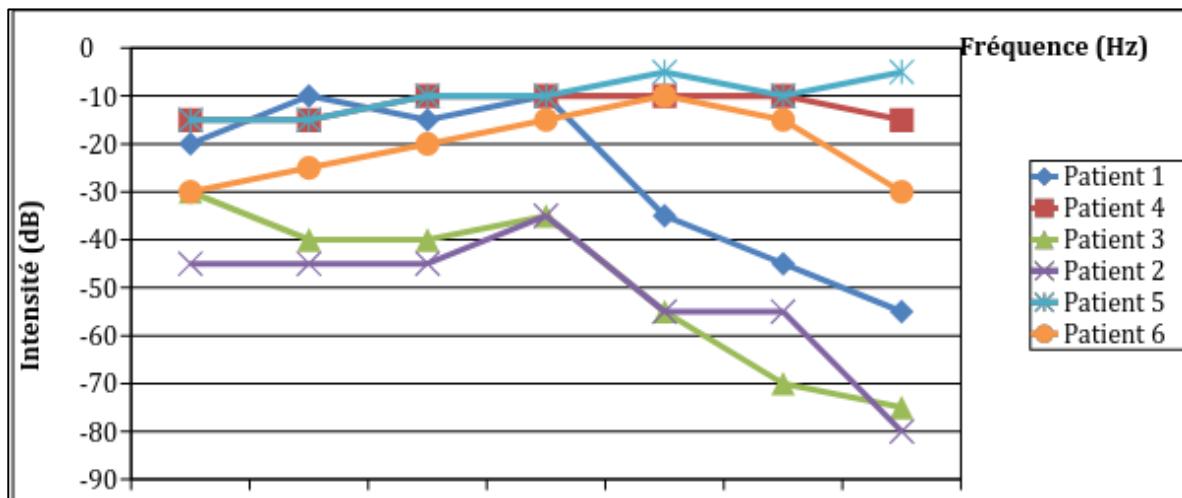


Figure 19 : Audiogrammes de la meilleure oreille des différents patients (1/2)

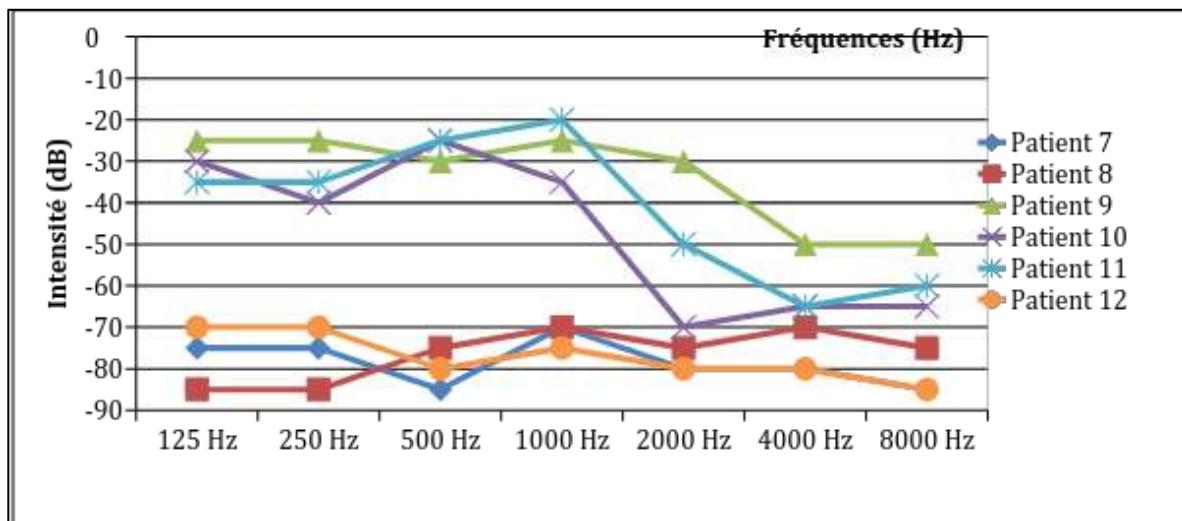


Figure 20 : Audiogrammes de la meilleure oreille des différents patients (2/2).

L'échantillon testé est composé de 6 hommes et 6 femmes.

Age minimum	33 ans
Age maximum	86 ans
Moyenne d'âge	66 ans

Selon l'étiologie de la cophose unilatérale, on compte (Figure 21) :

- 1 surdité unilatérale cophotique causée par une méningite,
- 2 sont dues à un neurinome de l'acoustique,
- 2 sont dues à une surdité brusque,
- 1 à une maladie de Ménière,
- 2 causée par un cholestéatome,
- 3 sont dues suite à des otites à répétition,
- Et 1 est congénitale.

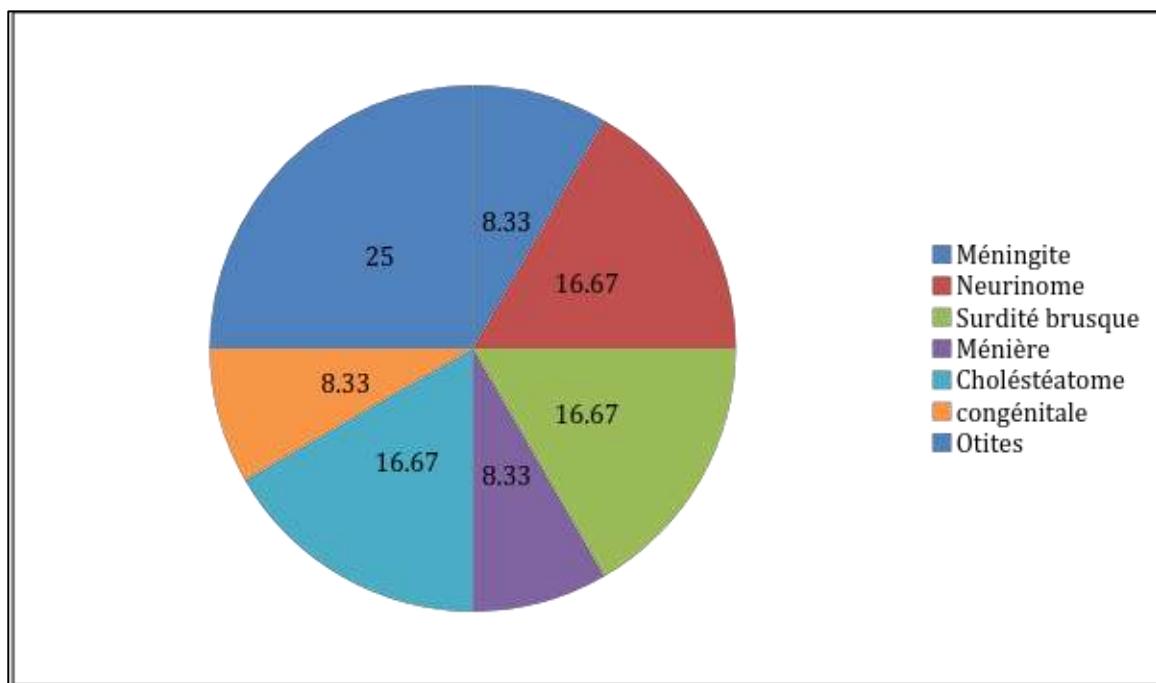


Figure 21: Répartition des causes de la surdité unilatérale.

2. Conditions matérielles

a. Matériel utilisé : local...

Toutes les mesures effectuées se déroulent dans des cabines agréées aussi bien dans le laboratoire d'Audition Lefeuvre que chez Acuitis.

L'agrément impose un bruit de fond ne dépassant pas les 40 dB_A sur une durée d'une heure et un temps de réverbération inférieur à 0.5 secondes à partir de l'octave 500 Hz.

La cabine est également équipée d'un audiomètre AuricalFreefit calibré fonctionnant avec le logiciel Noah, de 5 hauts parleurs reliés directement à l'amplificateur de la cabine.

Les aides auditives utilisées sont des micro-contours à écouteur déporté :

- Le CROS Phonak adapté avec un Audéo V 90
- Le CROS Widex adapté avec un Unique 440
- Le « CROS » Hansaton adapté avec un Sound HD3

b. Matériel de diffusion sonore

Pour effectuer les audiométries vocales dans le calme et dans le bruit, nous avons utilisé le logiciel Oto Voice (Figure 22).

Les listes phonétiques de Lafon sont enregistrées et calibrées dans ce logiciel.

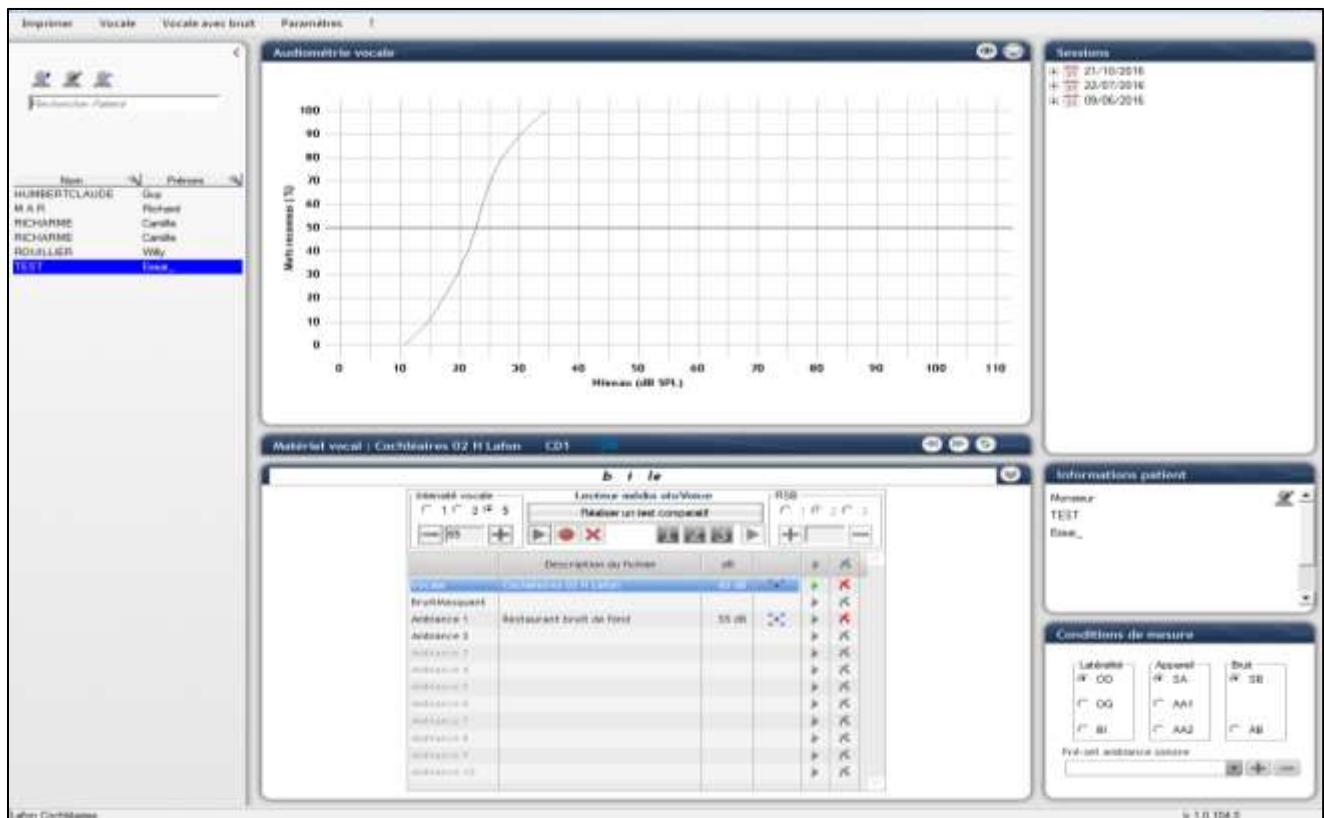


Figure 22 : Logiciel OtoVoice

On peut également sélectionner les hauts parleurs pour l'émission de la parole et/ou du bruit.

Les phonèmes correctement répétés sont comptabilisés sur OtoVoice. Les phonèmes erronés sont notés sur le format papier afin de pouvoir modifier le réglage en fonction des erreurs phonétiques.

III. Protocole des tests utilisés

1. Anamnèse

L'anamnèse est effectuée avant tout examen. Elle est primordiale afin d'assurer la prise en charge du patient. Cela permet d'avoir tous les renseignements personnels (conditions de vie, histoire de la surdité, difficultés de compréhension ...) et médicaux (antécédents O.R.L., familiaux, état général ...) du patient.

- Nom du médecin traitant et du médecin ORL
- Ancienneté et causes de la surdité
- A-t-il déjà été appareillé ? et appréciation de son ancien appareillage
- Motivation pour l'appareillage
- Milieu social et culturel
- Autres pathologies associées (visuel, dextérité, élocution acouphènes, opérations ...).

Elle permet de déterminer la ou les causes ainsi que la date d'apparition de la déficience auditive.

2. Audiométrie tonale

Nous pratiquons une audiométrie tonale au casque en commençant par la meilleure oreille. On mesure les seuils auditifs à 125 Hz, 250Hz, 500Hz, 750 Hz, 1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz et 8000 Hz.

Pour s'assurer du seuil de l'oreille cophotique, l'oreille la plus saine est masquée avec un bruit blanc afin d'enregistrer la réponse de l'oreille testée et non de l'oreille controlatérale.

3. Seuil d'inconfort

Le seuil subjectif d'inconfort aussi appelé Uncomfortable Loudness Level (UCL) est une mesure faite systématiquement après l'audiogramme tonal.

Les consignes données par le testeur font partie intégrante de la méthodologie employée : « Vous allez entendre des sons forts, très forts, levez la main lorsqu'ils deviennent insupportables ».

Cette mesure est importante afin de déterminer la tolérance aux fortes intensités et de connaître la dynamique résiduelle du patient. On pourra également ajuster le MPO (Maximum Pressure Level), généralement quelques dB en dessous de l'UCL.

Après avoir effectué l'audiométrie tonale au casque et le seuil d'inconfort, nous réalisons un gain prothétique en champs libre afin de vérifier l'adaptation prothétique de chaque système CROS.

4. Audiométrie vocale dans le silence (AVS)

Dans un premier temps, l'audiométrie vocale est réalisée en champ libre dans le calme avec et sans appareil.

Le test est effectué avec les listes cochléaires de Lafon (voir Annexes 7 et 8) où l'on comptabilise le nombre de phonèmes déformés.

La consigne étant très importante : « Vous allez entendre des mots, vous répétez ce que vous entendez même si vous ne comprenez pas le mot »

La notation du phonème déformé est notée avec l'Alphabet Phonétique International.

Chacune des 20 listes phonétiquement équilibrées comprend 17 mots de 3 phonèmes chacun. Chaque liste comprend donc 51 phonèmes, le score est ramené à 50 afin de faciliter le passage en pourcentage de distorsion cochléaire. **[8c]**

Ces listes ont été utilisées car elles permettent d'analyser les erreurs phonétiques et d'ajuster les réglages en fonction grâce au sonogramme.

Les listes sont émises à une intensité confortable puis on diminue par pas de 10 dB.

5. Audiométrie vocale dans le bruit (AVB)

Dans un deuxième temps, nous réalisons une audiométrie vocale en champs libre dans le bruit avec et sans appareil. Les listes de Lafon sont émises du côté cophotique et le bruit du côté controlatéral (Figure 23).

Ce test s'effectue en présence de bruit. Pour se rapprocher au mieux de la réalité nous utilisons le bruit « cocktail party ».

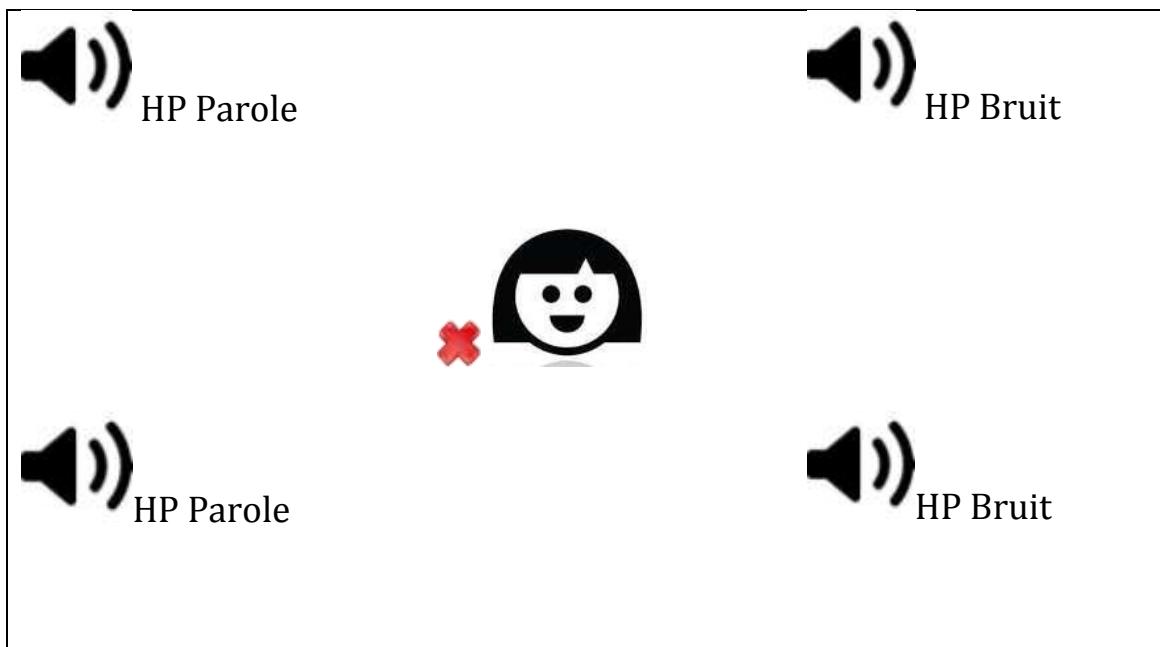


Figure 23 : Disposition des haut-parleurs en fonction du sujet

Le test est réalisé en modifiant le rapport signal/bruit de la manière suivante :

- Rapport signal/bruit = +10 dB
- Rapport signal/bruit= +5 dB

Il aurait été plus judicieux de faire varier amplement le rapport signal/bruit. Or, pour des raisons de fatigabilité le temps de test a été réduit.

6. Localisation sonore spatiale

Le dernier test réalisé est celui de la localisation spatiale.

La méthode proposée par DECROIX et DEHAUSSY est de réaliser un «stéréoauditorium » c'est-à-dire placé le sujet sur un fauteuil autour de 7 haut-parleurs qui forment en eux des angles de 30°.

Le patient doit indiquer d'où provient le son, il est autorisé à bouger la tête.

Une erreur de localisation de 30° vaut une pénalisation d'un point.

- Si l'erreur est faite vers la droite, +1.
- Si l'erreur est faite vers la gauche, -1.

La configuration des cabines audiométriques chez Acuitis et Audition Lefevre ne bénéficie pas de 7 haut-parleurs, j'ai du réalisé un calibre positionné sur le pied du fauteuil où s'installe le patient. Ce calibre est divisé en angles de 30°. (Figure 24)

Le patient fait le test avec les yeux fermés. Seulement un haut-parleur est utilisé pendant ce test. Le patient est aléatoirement placé sur les 7 positions possibles, afin de reconstituer un « stéréoauditorium ».

Le stimulus utilisé est une bande étroite de bruit blanc.

La consigne donnée par le testeur étant : « Veuillez m'indiquer en pointant du doigt la direction d'où vous semble provenir le son ».

Les résultats sont notés sur le graphique ci-dessus (Figure 25). **[1;17; 8b]**

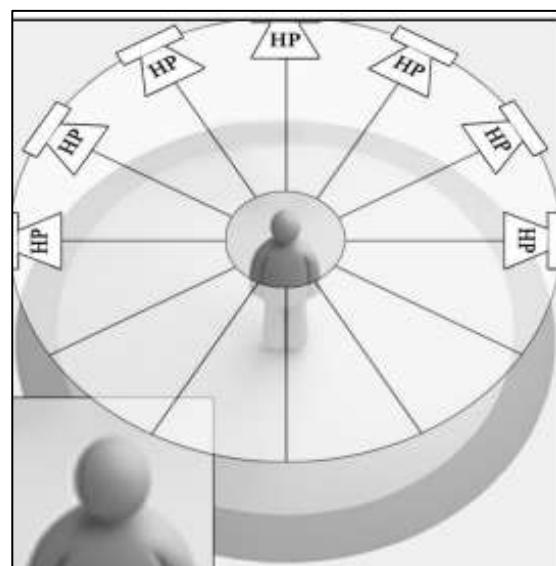


Figure 24 : Le stéréoauditorium

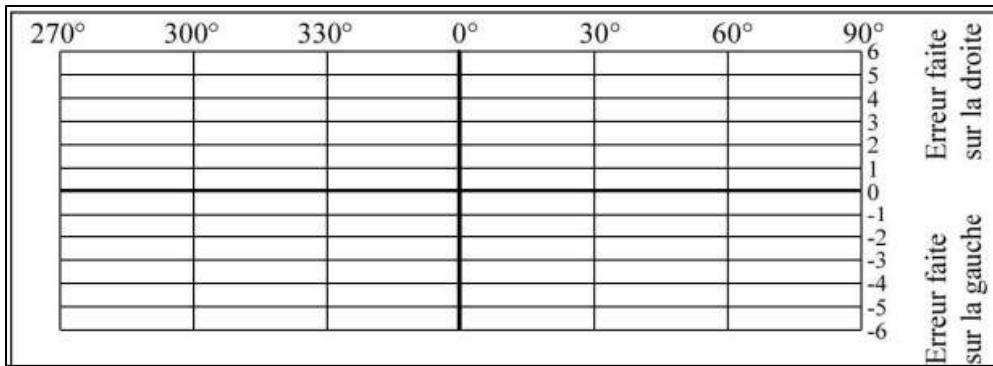


Figure 25 : Notation des résultats de l'épreuve de localisation spatiale

La localisation spatiale est influencée par :

- La vision,
- L'attention,
- Le mouvement des yeux.

De plus, les aides auditives ont également un effet sur la différence de phase et de temps. Elles modifient les ITD et ILD.

Les tubes, les transducteurs et les filtres entraînent des retards qui peuvent avoir un impact sur les indices de l'ITD.

La directivité automatique et la compression peuvent également distordre les indices spectraux et temporels naturels et donc perturber la localisation spatiale.

De nos jours, les fabricants tentent de restituer l'effet de masque de la tête en agissant directement sur l'ILD. Ceci est rendu possible grâce à la communication entre les aides auditives qui permet la synchronisation binaurale. [1]

IV. Les limites du protocole utilisé

La complexité du protocole mis en place augmente la fiabilité des résultats obtenus. Or cette série de tests demande beaucoup de temps, elle induit une certaine fatigabilité chez le patient entraînant des erreurs supplémentaires.

Il faut veiller à répéter plusieurs fois la consigne afin de s'assurer de la bonne compréhension de l'examen pratiqué.

Il aurait été intéressant de pouvoir leur prêter les appareils afin d'analyser leurs ressentis lors d'un port quotidien en situation réelle.

De plus, le test de localisation spatiale a été réalisé sur seulement huit patients car les patients concernés n'étaient plus disponibles.

Cependant, il aurait fallu également faire la mesure multidirectionnelle de gain prothétique. Cette mesure consiste à réaliser un audiogramme en champs libre dans tous les azimuts. Elle peut donc mettre en évidence la perte auditive dans les fréquences aigues objectivant ainsi l'effet d'ombre de la tête. La notation se fait sur un diagramme polaire (Figure 26). [1]

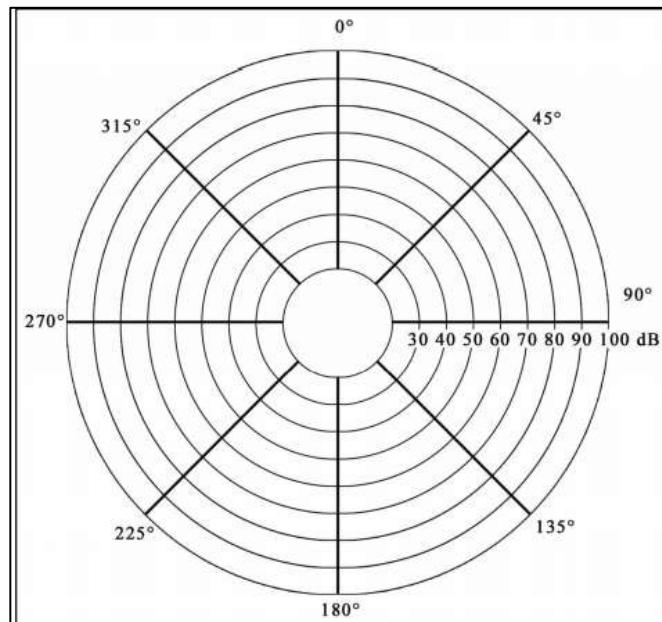


Figure 26 : Diagramme polaire.

V. Résultats

Les résultats présentés sur les tableaux ci-dessous d'audiométrie vocale dans le silence et dans le bruit représentent le nombre de phonèmes erronés à trois intensités différentes I_1 , I_2 et I_3 . Etant donné que la perte diffère d'un patient à l'autre, la valeur des intensités varie.

Le tableau ci dessous présente les intensités en fonction des patients.

Patients \ Intensités	I_1	I_2	I_3
1	45	55	65
2	40	50	60
3	55	65	75
4	30	40	50
5	50	60	70
6	40	50	60
7	60	70	80
8	60	70	80
9	40	50	60
10	50	60	70
11	45	55	65
12	40	50	60

1. Compréhension dans le silence

Patients	Oreilles nues			Phonak			Widex			Hansaton		
	I ₁	I ₂	I ₃	I ₁	I ₂	I ₃	I ₁	I ₂	I ₃	I ₁	I ₂	I ₃
1	50	41	15	27	10	8	23	15	9	25	19	12
2	24	9	5	7	3	0	6	0	0	7	1	0
3	50	50	32	15	10	5	14	9	5	17	13	8
4	19	1	0	17	1	0	18	4	2	18	4	1
5	41	25	10	24	15	10	19	10	5	24	12	7
6	29	14	10	12	8	5	11	5	0	12	6	0
7	38	26	20	20	15	10	18	10	8	21	17	13
8	27	15	9	2	0	0	4	0	0	8	1	0
9	50	43	17	29	12	10	25	17	11	27	21	14
10	50	50	33	16	11	6	10	7	0	17	10	6
11	50	45	17	29	17	13	23	12	9	29	18	14
12	50	50	50	35	10	6	37	13	9	40	17	15

Afin de rendre les résultats plus compréhensibles, un histogramme des moyennes d'erreurs en fonction des intensités a été réalisé ci dessous.

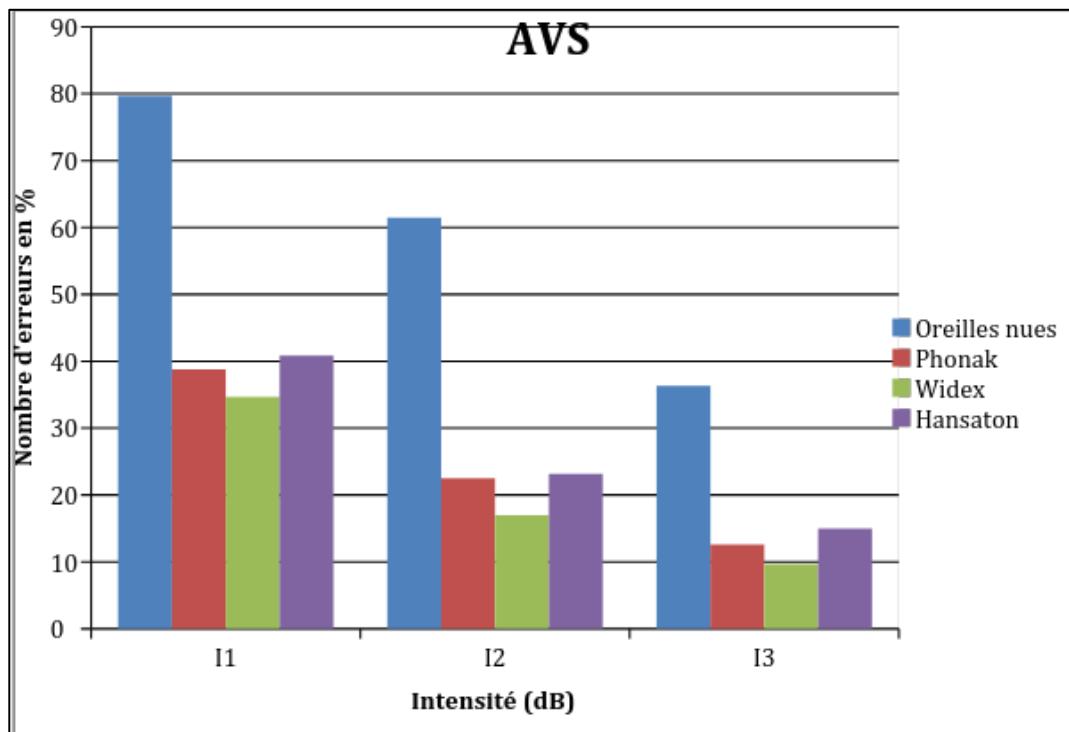


Figure 27: Répartition des pourcentages d'erreurs en fonction de l'intensité d'émission dans le calme.

On peut en conclure, que la présence d'un système CROS améliore nettement l'intelligibilité.

Dans le silence, le système CROS Widex est plus performant quelque soit l'intensité d'émission du signal.

Quant aux marques Hansaton et Phonak, les performances sont à peu près équivalentes (les erreurs varient de 1 à 3%).

- A l'intensité I_1 , on passe de 80% d'erreurs sans appareils à 35% avec Widex, 38% avec Phonak et 41% avec Hansaton,
- A l'intensité I_2 , on passe de 61% d'erreurs sans appareils à 15% avec Widex, 22% avec Phonak et 23% avec Hansaton,
- A l'intensité I_3 , on passe de 35% d'erreurs sans appareils à 9% avec Widex, 12% avec Phonak et 14% avec Hansaton.

2. Compréhension dans le bruit

Le test d'audiométrie vocale dans le bruit s'est déroulé de la manière suivante :

- La parole émise à l'intensité I_3 , l'intensité la plus élevée, à laquelle le moins d'erreur sont commise.
- Le bruit émis à 5 ou 10 dB en dessous de la parole, en fonction du rapport signal/bruit.

Rapport S/B	Patients	Oreilles nues	Phonak	Widex	Hansaton
10 dB	1	50	30	32	33
	2	16	10	1	3
	3	42	23	16	18
	4	5	4	2	9
	5	29	24	20	23
	6	21	15	6	8
	7	35	10	8	13
	8	18	5	2	6
	9	47	24	22	25
	10	50	20	18	25
	11	49	22	20	27
	12	50	6	16	20
5 dB	1	50	25	28	40
	2	20	16	14	5
	3	47	27	21	34
	4	17	7	4	15
	5	36	33	29	36
	6	26	21	11	13
	7	40	20	13	17
	8	25	13	9	18
	9	50	32	30	34
	10	50	29	25	33
	11	50	35	30	39
	12	50	16	25	31

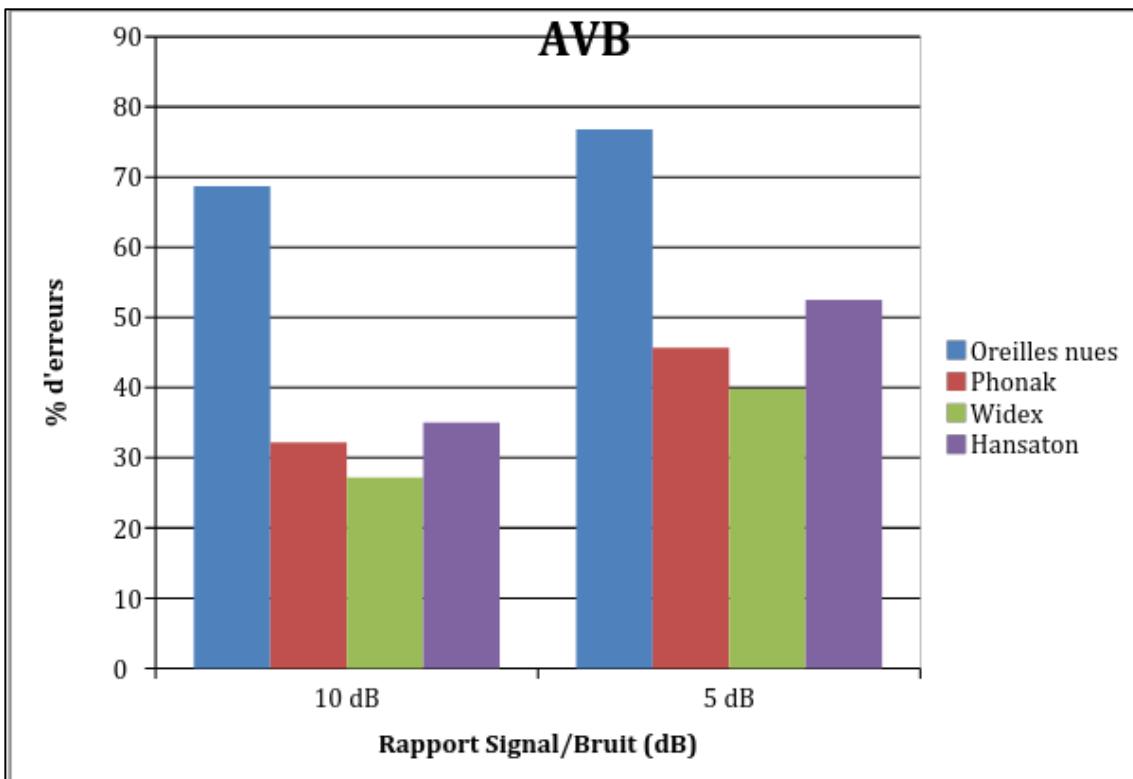


Figure 28: Répartition des pourcentages d'erreurs par marques en fonction rapport signal sur bruit.

On peut déduire des tests d'audiométrie vocale dans le silence et dans le bruit qu'une nette amélioration de la compréhension et de l'intelligibilité est mise en évidence avec le système CROS.

Cependant on remarque de meilleurs résultats avec le système Widex dans toutes les situations testées. La majorité des patients font moins d'erreurs phonétiques avec ce système.

3. Comparaison en fonction des erreurs phonétiques

Le matériel vocal utilisé étant les listes cochléaires de Lafon où l'unité d'erreur est le phonème erroné. L'étude des phonèmes erronés va permettre d'affiner au mieux les réglages des aides auditives.

Par exemple si un patient confond le /p/ et le /f/, il faudra donc augmenter le gain entre 1000 Hz et 3000 Hz.

Après avoir analysé les erreurs phonétiques de chaque patient, j'ai pu constater des erreurs récurrentes en fonctions de chaque marque :

- Les patients appareillés avec le système CROS Phonak, ont tendance à confondre le /k/ et le /t/>,
- Les patients appareillés avec le système CROS Widex, ont tendance à confondre le /p/ et le /k/>,
- Les patients appareillés avec le système CROS Hansaton, ont tendance à confondre le /p/ et le /t/.

Il faut également savoir que le /p/, le /t/ et le /k/ sont situés sur la même bande fréquentielle entre 1000 Hz et 3500 Hz.

Cependant, quelque soit la marque de l'appareil, les patients appareillés ont du mal à distinguer le son /p/.

De plus, les patients appareillés avec le système Phonak et Hansaton, confondent le /f/ et le /s/. Or ces deux phonèmes sont situés sur une bande fréquentielle élevée respectivement de 1800 Hz à 10000 Hz et de 3500 Hz à 9500 Hz.

Toutes ces confusions phonétiques pourraient être dues à la bande passante de la marque de l'appareil.

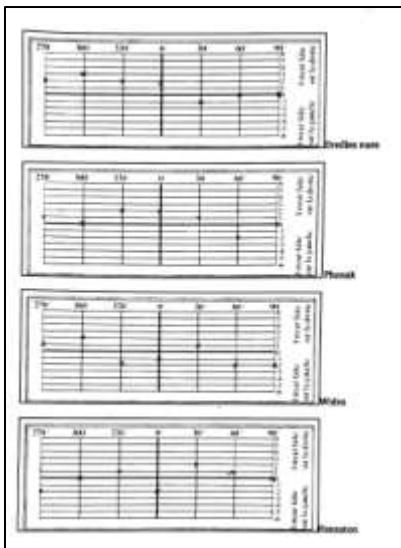
4. Localisation sonore spatiale

Le test de localisation spatiale a été réalisé avec 8 patients. Les autres patients n'ont pu se rendre disponible pour l'étude.

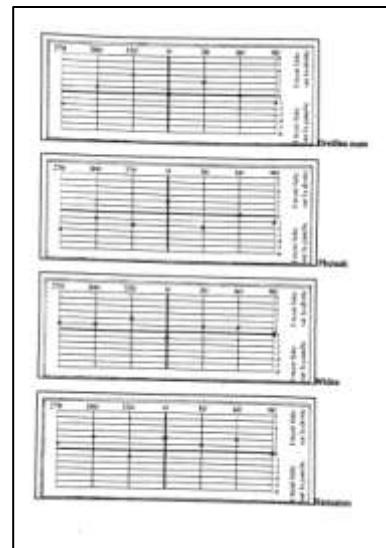
Les patients testés avaient, en grande majorité, beaucoup de mal à indiquer avec certitude la provenance du son. Leurs réponses souvent hasardeuses ne permettent pas de tirer une conclusion précise à ce test comparatif.

Les résultats du test de localisation spatiale sont présentés ci-dessous:

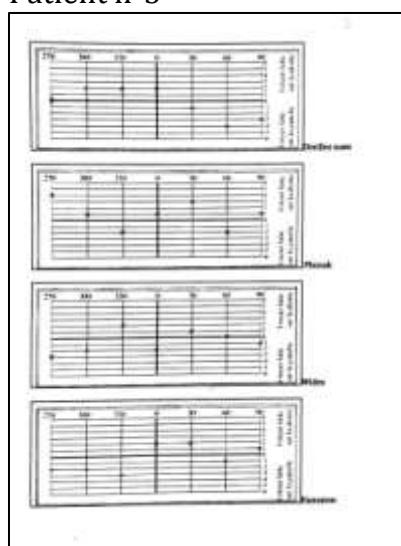
Patient n°1



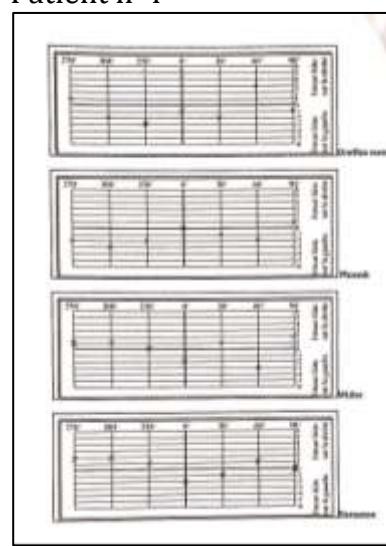
Patient n°2



Patient n°3



Patient n°4



Patient n°5

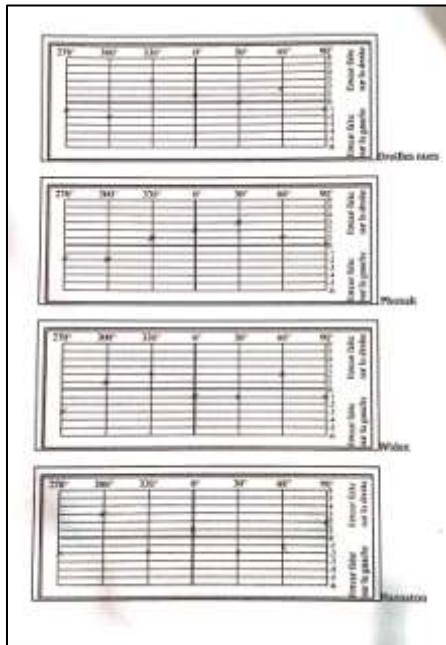


Figure 33 : Résultat du test de localisation du patient n°5

Patient n°9

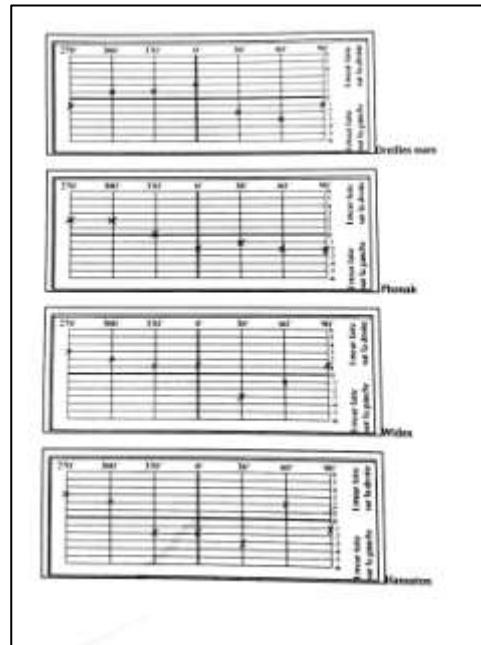


Figure 34 : Résultat du test de localisation du patient n°9

Patient n°10

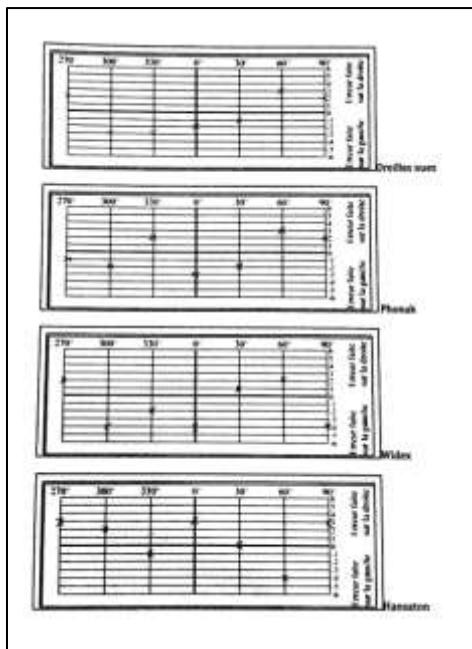


Figure 35 : Résultat du test de localisation du patient n°10

Patient n°11

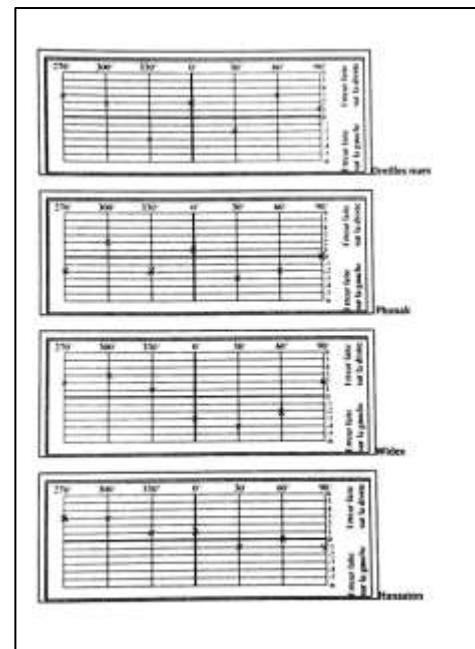


Figure 36 : Résultat du test de localisation du patient n°11

Nous nous intéressons au nombre d'erreurs commises en fonction des marques :

	Oreilles nues	Phonak	Widex	Hansaton
Moyenne d'erreurs	12,1	11,8	12,2	11,6

Les moyennes sont quasiment identiques quelque soit le système CROS utilisé. On remarque qu'il n'y a aucune amélioration significative avec ou sans les aides auditives.

En conclusion sur le test de localisation effectué, aucun des trois systèmes CROS ne se différencie. Cela peut être dû au faible effectif testé mais également au fait que la capacité à localiser des sons est un phénomène inné. De plus, le temps de port des appareils joue un rôle primordial, puisque la localisation devrait théoriquement s'améliorer. Il s'agit donc d'une rééducation auditive.

VI. Discussion

En tant qu'audioprothésiste, on se doit d'être à l'écoute du patient car son ressenti est primordial. Parfois, bien que l'on obtienne un bon gain prothétique en champs libre, le patient peut ne pas supporter les réglages de ses appareils. C'est le facteur le plus important à prendre en ligne de compte.

C'est pour cette raison, qu'après chaque adaptation d'appareil, j'ai posé quelques questions aux patients afin de connaitre leurs avis sur les trois marques.

- Question 1:

Avec quelle marque pensez-vous avoir le meilleur confort auditif ?

- Question 2 :

Comment trouvez-vous le traitement du signal de chacun d'eux ?

- Questions 3 :

Quelles difficultés avez-vous rencontrées durant les différents tests réalisés ?

Nous allons donc analyser les réponses des patients pour chaque question.

Commençons par la première question : « confort auditif » :

Lors de l'adaptation des appareils, les réglages doivent être faits de telle sorte que le patient puisse les garder toute la journée. Le but étant de les porter un maximum jusqu'à les oublier.

Le patient devait déterminer la marque avec laquelle il avait le meilleur confort auditif dans le calme et dans le bruit.

Tous les patients ont le même avis sur la question, Widex leur procure le meilleur confort auditif aussi bien dans le calme que dans le bruit.

Cependant en deuxième choix,

- 7 patients sur 12 préfèrent Phonak et,
- 5 patients sur 12 préfèrent Hansaton pour avoir le meilleur confort auditif.

Avec Hansaton, ayant une puce identique à celle de Phonak (7 sur 12 contre 5 sur 12), on arrive quand même à obtenir des résultats significatifs alors qu'avec ce système on perd en directionnalité et les traitements du signal sont moins efficaces.

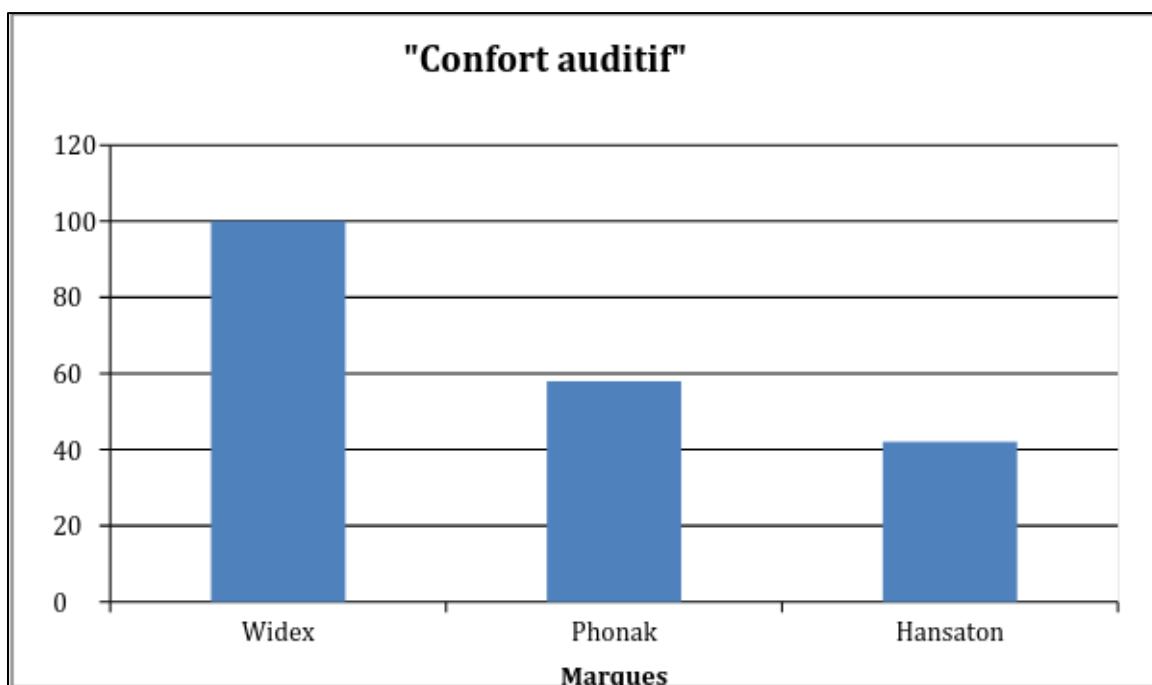


Figure 37 : Histogramme présentant la marque apportant le meilleur "confort auditif".

Pour la question : « traitement du signal » :

Une fois les réglages terminés, je questionne les patients quant à la sonorité délivrée par les appareils.

Comme dit précédemment, tous les patients affirment mieux entendre avec le système Widex.

Cependant, au niveau du ressenti sur le traitement du signal :

- Un patient atteste que le système Hansaton lui procure un son plus naturel que celui de Widex ou Phonak et,
- Le reste des patients confirment que le son de Widex est plus clair et moins métallique que celui de Phonak ou Hansaton.

De plus, 80% des patients ne sentent pas de différence entre le système Hansaton et Phonak.

Enfin, pour la dernière question portant sur « les critiques des tests par les patients » :

Les différents tests ont été réalisés sur plusieurs séances (2 à 3 séances au maximum). Malgré tout, les patients ont rencontré quelques difficultés :

- Ils ont trouvé que le test d'audiométrie vocale dans le bruit était gênant car il leur a été difficile de se concentrer pendant une longue période dans le bruit cocktail party.
- Les tests étaient également fatigants lorsque deux marques étaient testées au même rendez-vous. Il aurait été préférable d'adapter chaque appareil à des rendez-vous distincts.
- Les patients sont souvent habitués aux tests d'audiométrie vocale avec les listes dissyllabiques de Fournier. Ils sont composés de 40 listes de 10 mots avec un déterminant. Cependant, les listes de Lafon cochléaires comprennent des mots sans déterminant, ce qui demande plus de concentration.

VII. Conclusion

L'objectif de cette étude est de comparer les performances de trois systèmes CROS.

Face à une surdité unilatérale, les audioprothésistes ont tendance à proposer uniquement le système Phonak pour une raison historique.

Or, à travers les différents tests mis en place par mon maître de mémoire et moi-même, j'ai pu constater que le système CROS Widex restitue la meilleure écoute.

Les systèmes CROS Phonak et Hansaton présentent des résultats presque similaires.

Cependant, dans un appareillage auditif plusieurs facteurs entrent en ligne de compte, notamment le prix, le mode de vie du patient etc. Depuis 2002, le CROS est considéré comme un accessoire, et n'est donc plus pris en charge par la sécurité sociale ni la mutuelle.

Or, lorsqu'il est préconisé par le médecin ORL, c'est qu'il est nécessaire au malentendant pour lui apporter une amélioration de son handicap dans son quotidien. Le fait qu'il ne soit plus remboursé pose un réel poids dans la balance car son coût s'élève aux environ de 800€.

C'est pourquoi le système d'Hansaton devient intéressant car ceux sont des appareils conventionnels que l'on « transforme » en système CROS, ce qui entraîne un remboursement de l'équipement complet.

La conclusion va au-delà de la réponse à la problématique initiale. L'idéal aurait été que Widex développe un système CROS comme le système Hansaton tout en gardant les fonctionnalités de leur appareil classique (même traitement du signal) ainsi le reste à charge du patient est moindre.

Il est vrai qu'il n'est pas facile pour les patients atteints d'une surdité unilatérale, d'accepter un appareillage bilatéral d'un point de vue psychologique et financier. Le système détourné amènerait plus de personnes atteintes de surdités asymétriques à utiliser cet équipement.

En extrapolant, il serait même intéressant d'utiliser un appareil classique avec la fonction CROS en conservant également sa fonction d'amplificateur. Cela permettrait ainsi, en plus d'apporter une information du côté controlatéral, de solliciter l'oreille subcophosée afin de stimuler le cerveau. Le malentendant serait alors doublement corrigé.

Table des illustrations

Figure 1 : Source sonore faisant un angle avec l'axe de symétrie de la tête	5
Figure 2 : Différence interaurale de temps en fonction de l'azimut de la source sonore	6
Figure 3 : Influence de la longueur d'onde et de la fréquence sur la différence de phase	7
Figure 4 : Différence de phase	7
Figure 5 : Différence interaurale d'intensité en fonction de l'azimut pour 4 fréquences (200 Hz, 1000 Hz, 4000 Hz et 6000 Hz)	9
Figure 6 : Effet de la longueur d'onde du signal sur l'atténuation provoquée par le masque de la tête[4]	10
Figure 7 : Effet du pavillon (p, vert), du conduit auditif externe (c, bleu), de l'ensemble de l'oreille externe, donc du pavillon et du conduit (t, rouge), sur l'amplitude de la vibration sonore pour l'azimut 45° dans le plan horizontal.[6]	12
Figure 8 : Schéma des voies auditives	16
Figure 9 : Prothèse à ancrage osseux	20
Figure 10 : Adaptateur CROS pour contour d'oreille	21
Figure 11 : Système CROS monté sur une lunette	21
Figure 12 : Appareil Relay d'Interton	22
Figure 13 : Appareil Tandem d'Unitron	22
Figure 14 : Différents modes de transmission du signal sonore avec un système CROS	23
Figure 15 : Différence entre le système CROS et BiCROS	24
Figure 16 : Différentes représentations de systèmes CROS Phonak.	27
Figure 17 : Système CROS Widex Fusion (à gauche) et Fashion (à droite)	28
Figure 18 : Paramètres dans le programme CROS.	29
Figure 19: Audiogrammes de la meilleure oreille des différents patients (1/2)	33

Figure 20 : Audiogrammes de la meilleure oreille des différents patients (2/2).	33
Figure 21: Répartition des causes de la surdité unilatérale.	34
Figure 22 : Logiciel OtoVoice	36
Figure 23: Disposition des haut-parleurs en fonction du sujet.	39
Figure 24 : Le stéréoauditorium	40
Figure 25 : Notation des résultats de l'épreuve de localisation spatiale	41
Figure 26 : Diagramme polaire	42
Figure 27 : Répartition des pourcentages d'erreurs en fonction de l'intensité d'émission dans le calme.	44
Figure 28 : Répartition des pourcentages d'erreurs par marques en fonction rapport signal sur bruit.	47
Figure 29 : Résultat du test de localisation du patient n°1	49
Figure 30 : Résultat du test de localisation du patient n°2	49
Figure 31 : Résultat du test de localisation du patient n°3	49
Figure 32 : Résultat du test de localisation du patient n°4	49
Figure 33 : Résultat du test de localisation du patient n°5	50
Figure 34 : Résultat du test de localisation du patient n°9	50
Figure 35 : Résultat du test de localisation du patient n°10	50
Figure 36 : Résultat du test de localisation du patient n°11	50
Figure 37 : Histogramme présentant la marque apportant le meilleur "confort auditif"	53

Bibliographie

[1] Girault A., TP audioprothèse « Spatialisation », D.E. Audioprothésiste 2ème année Nancy, 2015/2016

[2] Site internet :

<http://www.cochlea.eu/son/psychoacoustique/localisation> consulté le 20/03/2017

[3] Gabriel C., Psychoacoustique, Support Pédagogique, chapitre 8, p. 40 consulté le 20/03/2017

[4] Site

internet :

https://www.researchgate.net/publication/272640049_Rehabilitation_des_patients_ayant_une_surdite_unilaterale consulté le 24/03/2017

[5] Site internet :

<http://www.cochlea.eu/son/psychoacoustique/localisation> consulté le 24/03/2017

[6] Site internet :

<http://www.cochlea.eu/oreille-generalites/oreille-externe> consulté le 28/03/2017

[7] Site internet :

http://acfos.org/wpcontent/uploads/base_doc/sciences_techniques/georric2005_revue15.pdf consulté le 03/04/2017

[8] Précis d'Audioprothèse – Tome I : Le bilan d'orientation prothétique, Collège national d'audioprothèse p.63

- a. p.63
- b. p. 64
- c. p. 211

[9] Ducourneau J., Cours de Psychoacoustique, D.E d'Audioprothésiste 3e année, Nancy, 2017

[10] Jorno J., « Appareillage de la surdité unilatérale : Comparaison du système CROS à un micro-cravate, lors du contrôle d'efficacité prothétique », mémoire de fin d'étude d'audioprothèse, Nancy, 2015.

[11] Site internet :

<http://www.cochlea.eu/cerveau-auditif> consulté le 15/005/2017

[12] Cahier de l'audition volume 23 novembre /décembre 2010 numéro 6

Anatomie et physiologie du système nerveux auditif central consulté le 15/05/2017

[13] Site internet :

https://www.phonakpro.com/content/dam/phonak/gc_hq/b2b/fr/evidence/insight/Insight_Phonak_CROS_System.pdf consulté le 01/06/2017

[14] Site internet :

<http://www.fr.interton.com/About/history> consulté le 01/03/2017

[15] Site internet :

<https://www.edp-audio.fr/actualites/entreprises/5116-premiere-aide-auditive-ultra-connectee-pour-widex> consulté le 22/06/2017

[16] Site internet:

file:///C:/Users/user/Downloads/FAB_WIDEX_BROCHURE.pdf consulté le 30/06/2017

[17] Précis d'Audioprothèse – Tome III : Le contrôle d'efficacité prothétique p. 133 à 141

[18] Professeur Parietti C., cours d'audiologie sur les voies afférentes, D.E. d'Audioprothésiste, 1ère année Nancy, 2013/2014

Annexes

Annexe 1 : Fiche technique CROS Phonak (1/2)

Annexe 2 : Fiche technique CROS Phonak (2/2)

Annexe 3 : Fiche technique CROS Widex (1/2)

Annexe 4 : Fiche technique CROS Widex (2/2)

Annexe 5 : Fiche technique CROS Hansaton (1/2)

Annexe 6 : Fiche technique CROS Hansaton (2/2)

Annexe 7 : Listes de Lafon cochléaires (1)

Annexe 8 : Listes de Laon cochléaires (2)

Annexe 9 : Exemple d'audiogramme tonal, seuil d'inconfort et gain prothétique réalisé sur l'un de mes patients

Annexe 10 : Exemple d'audiométrie vocale dans le calme et dans le bruit sans appareils et avec les différentes marques (1)

Annexe 11 : Exemple d'audiométrie vocale dans le calme et dans le bruit sans appareils et avec les différentes marques (2)

Annexe 1

Description du produit



	CROS II-312	CROS II-13	CROS II-312 Custom	CROS II-13 Custom
Taille de la pile	312	13	312	13
Courant de fonctionnement (mA)	2,6	2,6	2,1	2,1
Bouton-poussoir	*	*	*	*
Contrôle du volume		*	Optionnel	Optionnel
Protection par « nano coating »	*	*	*	*
Indice de protection	IP57 ¹	IP67 ²		
Dimensions (L x l x P)	2,4 x 0,6 x 0,9 cm (0,94 x 0,24 x 0,35")	3,2 x 0,8 x 1,5 cm (1,26 x 0,31 x 0,59")		
Poids	1 g (0,035 oz)	2,2 g (0,078 oz)		
Compatibilité	RIC/BTE Venture	RIC/BTE Venture	Produit sur-mesure Venture	Produit sur-mesure Venture

¹ L'indice IP57 indique que l'aide auditive est protégée contre l'eau et la poussière. Elle n'a pas été endommagée après une immersion de 30 minutes dans 1 mètre d'eau et après 8 heures dans une chambre à poussière, selon la norme CEI60529.

² L'indice IP67 indique que l'aide auditive est résistante à l'eau et hermétique à la poussière. Elle n'a pas été endommagée après une immersion de 30 minutes dans 1 mètre d'eau et après 8 heures dans une chambre à poussière, selon la norme CEI60529. Aucune trace de poussière n'a été retrouvée à l'intérieur du boîtier.

Options d'embout (CROS II-312 et CROS II-13 uniquement)

Coude de démo CROS	<ul style="list-style-type: none"> Coude permettant de maintenir CROS sur l'oreille pendant l'appareillage et la démonstration Pour une utilisation uniquement lors d'une démonstration Fourni avec tous les dispositifs Phonak CROS et CROS II ; il remplace les pièces de rétention CROS
Tube fin CROS	<ul style="list-style-type: none"> Tube fin standard pour dispositifs CROS Disponible en version gauche et droite, dans quatre longueurs différentes (0, 1, 2, 3) Des dormes doivent être fixés. Disponibles en version dôme ouvert, fermé et puissant, dans trois tailles (S, M et L)
SlimTip CROS	<ul style="list-style-type: none"> Embout fait sur-mesure pour les dispositifs CROS Disponible en version gauche et droite, dans quatre longueurs différentes (0, 1, 2, 3) Disponible dans un matériau rigide ou un matériau souple
Coude CROS II	<ul style="list-style-type: none"> Coude pour la fixation d'un embout sur-mesure avec tube standard au dispositif CROS II-13 Disponible uniquement pour le modèle CROS II-13 Fourni avec tous les dispositifs CROS II-13 ou à commander séparément (référence : 049-0261)

Annexe 2

Informations concernant la pile					Normes appliquées																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modèle</th><th>Taille de la pile</th><th>Code CII</th><th>Code ANSI</th><th>Code couleur sur l'emballage</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CROS II-312</td><td>312</td><td>PR41</td><td>7002ZD</td><td>Marron</td></tr> <tr> <td>CROS II-13</td><td>13</td><td>PR48</td><td>7000ZD</td><td>Orange</td></tr> </tbody> </table>					Modèle	Taille de la pile	Code CII	Code ANSI	Code couleur sur l'emballage	CROS II-312	312	PR41	7002ZD	Marron	CROS II-13	13	PR48	7000ZD	Orange	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Europe</th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Radio :</td><td>ETSI EN 300 330</td></tr> <tr> <td>CEM :</td><td>EN/CEI 60601-1-2 EN 301489</td></tr> <tr> <td>Sécurité électrique :</td><td>EN/CEI 60601-1 EN 60950-1</td></tr> </tbody> </table>		Europe		Radio :	ETSI EN 300 330	CEM :	EN/CEI 60601-1-2 EN 301489	Sécurité électrique :	EN/CEI 60601-1 EN 60950-1
Modèle	Taille de la pile	Code CII	Code ANSI	Code couleur sur l'emballage																									
CROS II-312	312	PR41	7002ZD	Marron																									
CROS II-13	13	PR48	7000ZD	Orange																									
Europe																													
Radio :	ETSI EN 300 330																												
CEM :	EN/CEI 60601-1-2 EN 301489																												
Sécurité électrique :	EN/CEI 60601-1 EN 60950-1																												
Informations audio					<table border="1"> <thead> <tr> <th>États-Unis</th><th>CROS II-312</th><th>CROS II-13</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td><td>47 CFR section 15.209</td><td>47 CFR section 15.209</td></tr> <tr> <td></td><td>FCC ID : KWC-WHSRIC2</td><td>FCC ID : KWC-WHSRIC4</td></tr> </tbody> </table>		États-Unis	CROS II-312	CROS II-13		47 CFR section 15.209	47 CFR section 15.209		FCC ID : KWC-WHSRIC2	FCC ID : KWC-WHSRIC4														
États-Unis	CROS II-312	CROS II-13																											
	47 CFR section 15.209	47 CFR section 15.209																											
	FCC ID : KWC-WHSRIC2	FCC ID : KWC-WHSRIC4																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Canada</th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td><td>RSS-210 Section 8 Annexe 1 IC : 2262A-WHSRIC2</td></tr> <tr> <td></td><td>RSS-210 Section 8 Annexe 1 IC : 2262A-WHSRIC4</td></tr> </tbody> </table>					Canada			RSS-210 Section 8 Annexe 1 IC : 2262A-WHSRIC2		RSS-210 Section 8 Annexe 1 IC : 2262A-WHSRIC4																			
Canada																													
	RSS-210 Section 8 Annexe 1 IC : 2262A-WHSRIC2																												
	RSS-210 Section 8 Annexe 1 IC : 2262A-WHSRIC4																												
Informations radio					<table border="1"> <thead> <tr> <th>Japan</th><th>EWPE</th><th>EWPE</th></tr> </thead> </table>		Japan	EWPE	EWPE																				
Japan	EWPE	EWPE																											
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Type d'antenne :</td><td>Antenne à bobine intégrée en ferrite (inductive)</td></tr> <tr> <td>Fréquence de fonctionnement :</td><td>10,6 MHz</td></tr> <tr> <td>Largeur de bande occupée (99 % BW) :</td><td>498 kHz</td></tr> <tr> <td>Modulation :</td><td>DQPSK</td></tr> <tr> <td>Canal :</td><td>Un seul canal radio</td></tr> <tr> <td>Portée de fonctionnement :</td><td>18 cm</td></tr> <tr> <td>Option de port :</td><td>Derrière l'oreille</td></tr> <tr> <td>Usage :</td><td>Diffusion d'un signal audio à l'aide auditive réceptrice sur l'autre oreille</td></tr> <tr> <td>Puissance du champ magnétique à 10 m :</td><td>-25,5 dBμA/m</td></tr> </tbody> </table>					Type d'antenne :	Antenne à bobine intégrée en ferrite (inductive)	Fréquence de fonctionnement :	10,6 MHz	Largeur de bande occupée (99 % BW) :	498 kHz	Modulation :	DQPSK	Canal :	Un seul canal radio	Portée de fonctionnement :	18 cm	Option de port :	Derrière l'oreille	Usage :	Diffusion d'un signal audio à l'aide auditive réceptrice sur l'autre oreille	Puissance du champ magnétique à 10 m :	-25,5 dB μ A/m							
Type d'antenne :	Antenne à bobine intégrée en ferrite (inductive)																												
Fréquence de fonctionnement :	10,6 MHz																												
Largeur de bande occupée (99 % BW) :	498 kHz																												
Modulation :	DQPSK																												
Canal :	Un seul canal radio																												
Portée de fonctionnement :	18 cm																												
Option de port :	Derrière l'oreille																												
Usage :	Diffusion d'un signal audio à l'aide auditive réceptrice sur l'autre oreille																												
Puissance du champ magnétique à 10 m :	-25,5 dB μ A/m																												

Annexe 3

CROS-FS

WIDEX **CROS** FUSION



TECHNOLOGIE STANDARD

- Technologie True-Input
- WidexLink - connectivité sans fil
- Durée de vie de la pile extrêmement longue
- Nombreuses options de systèmes de maintien auriculaire

Le WIDEX CROS FUSION utilise notre technologie WidexLink unique et sans fil, ainsi que le nouveau TRUE TIS, la plate-forme technologique True-Input. Le bouton de sélection des programmes (transmission active/inactive) est standard.
Utilise une pile de taille 312.

TABLEAU DE COMPATIBILITÉ

	PASSION	FUSION	FASHION MINI	FASHION	FASHION P	9	m-CB	CIC	XP
UNIQUE440	x	x	x	x				x	x
UNIQUE330	x	x	x	x				x	x
UNIQUE220	x	x	x	x				x	x
UNIQUE110	x	x	x	x				x	x
DREAM440	x	x		x	x	x	x	x	x
DREAM330	x	x		x	x	x	x	x	x
DREAM220	x	x		x	x	x	x	x	x
DREAM110	x	x		x	x	x	x	x	x

CROS également compatible avec d'autres versions de DREAM.

LES COULEURS DE WIDEX CROS



FONCTIONNALITÉS CLÉS

Bouton de sélection des programmes (transmission active/inactive)	x
Nano protection	x
Taille de la pile	312
Résistance à l'eau	IP57
Couleurs	15



WIDEX CROS
HEAR IT FROM BOTH SIDES

Annexe 4

CROS-FS

DESCRIPTION DU PRODUIT :

Gamme de fréquences	Jusqu'à 10 kHz
Taille de la pile	312
Courant de maintien	~ 1 mA
Autonomie de la pile/heures (Type Zinc-Air 312, 145 mAh)	150 (>155)
Directivité des microphones	Locator/Omni
Bouton de sélection des programmes (transmission active/inactive)	✓
Nano protection	✓*
Résistance à l'eau	IP57
Niveau d'entrée maximum	113 dB SPL

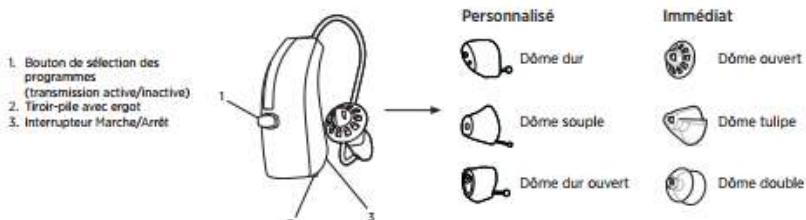
* Couvercle du microphone

SPÉCIFICATIONS RADIO

Fréquence (portée)	10,6 MHz (10,2-11,0 MHz)
Bandé passante RF	660 kHz (-15 dB)
Canaux	Canal unique
Modulation	FSK
Puissance de sortie (PAR)	29pW (-75dBm)
Champ magnétique équivalent	-54 dBuV/m @ 10 m
Cycle de fonctionnement	100 % Simplex

Conforme aux normes/arrangements suivants	<ul style="list-style-type: none">EN/IEC 60950-1EN 300 330-2EN 301 489-1EN 301 489-3EN 62479Partie 15 C du règlement de la FCCFCC ID : TTY-DFSMarquage CE
---	--

RÉCAPITULATIF



WIDEX
HEAR DIFFERENT. BETTER.

WIDEX CROS
HEAR IT FROM BOTH SIDES

Annexe 5

soundHD

Gamme d'appareils auditifs avec écouteur déporté (RIC) 312



Profil de performance	9	7	5	3
Canaux / bandes	20	16	12	8
Traitement du signal	Compression WDRC ou limitation linéaire			
Adaptatif Directionnel	Multibande	Multibande	Multibande	Multibande
Caractéristiques				
SpeechBeam+	*	*		
AutoSurroundHD	7 environnements	6 environnements	5 environnements	2 environnements
SurroundOptimizerHD	*	*	*	*
Gestionnaire d'acclimatation	*	*	*	*
BiPhone/BiLink	*	*	*	*
Effet du pavillon	*	*	*	*
Programmes manuels	Jusqu'à 3	Jusqu'à 3	Jusqu'à 3	Jusqu'à 3
Compression de fréquence	*	*	*	*
Gestion de l'effet larsen	*	*	*	*
Gestion de son direct	*	*	*	*
Gestionnaire de son impulsif	*	*	*	*
PhoneConnect	*	*	*	*
Choix de la musique	Automatique	Automatique	*	*

Pour tous les niveaux de technologie

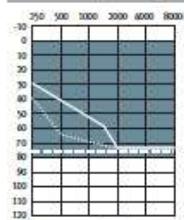
3 programmes sans fil, DataLogging, gestionnaire du bruit du vent, Tinnitus Manager, revêtement plasma et protection IP57

Accessoires (en option)

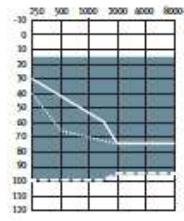
Télécommande RCV2	*	*	*	*
uStream	*	*	*	*
uDirect3	*	*	*	*
uTV3	*	*	*	*
uMic2	*	*	*	*

Type d'écouteur	Standard (xS)	Power (xP)	Super power (xSP)
Gain / niveau de sortie	113 / 47	127 / 57	131 / 63
Dôme ouvert	*	*	
Dôme fermé	*	*	
Dôme power	*	*	
Micro embout	*	*	*
Coque cShell (dure/souple)	*	*	*

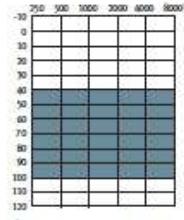
Guides d'appareillage



Écouteur standard (xS)



Écouteur power (xP)



Écouteur super power (xSP)

- Dôme ouvert
- ▲ Dôme fermé
- Dôme power ou
- Micro embout



65

HANSATON
hearing & emotions

Hansaton Akustik GmbH · Sachsenkamp 5 · 20097 Hamburg · Germany · www.hansaton.com

Annexe 6

soundHD Gamme d'appareils auditifs avec écouteur déporté (RIC) 312			
	Écouteur standard (xS)	Écouteur power (xP)	Écouteur sup power (xSP)
Données techniques coupleur zcc – ANSI 3.22 2009/IEC 118-7 2005			
Fréquence référence de test - IEC 118-7 (kHz)	1.6	1.6	1.6
OSPLgo			
Maximum (dB SPL)	113	127	131
Nominal (dB SPL)	110	124	128
Moyenne pour les fréquences élevées (HFA) - OSPLgo (dB SPL) à la RTF (dB SPL)	106	119	121
	105	121	127
Gain maximum (Entrée 50 dB SPL)			
Maximum (dB)	47	57	63
Moyenne pour les fréquences élevées du gain acoustique intégral (HFA - FOG) (dB) à la RTF (dB)	40	49	56
	39	52	62
Configuration de test de référence			
Plage de fréquence (Hz)	(100 - 8500	(100 - 7300	(100 - 5500
Gain test référence - RTG (dB)	29	42	44
Consommation de courant en configuration de test de référence (mA)	1.15	1.25	1.2
Durée moyenne de la pile (h)	160	140	150
Bruit d'entrée équivalent en configuration de test de référence (dB SPL)	19	18	19
Distorsion harmonique totale à 500 Hz/800 Hz/1600 Hz (%)	1.0/1.0/1.0	1.5/1.0/0.5	0.5/0.5/0.5
Compatibilité électromagnétique (EMC)			
Immunité EMC par ANSI C63.19-2007 EMC, omni	M4	M4	M4
Données techniques coupleur OES – IEC 118-0			
Fréquence référence de test (RTF) - IEC 118-0 (kHz)	1.6	1.6	1.6
OSPLgo			
Maximum (dB SPL)	122	133	135
à la RTF (dB SPL)	114	130	134
Gain maximum (Entrée 50 dB SPL)			
Maximum (dB)	58	67	71
à la RTF (dB)	48	62	70
Réponse en fréquence de base			
Plage de fréquence (DIN 45605) (Hz)	(100 - 10000	(100 - 8000	(100 - 5800
Gain test référence - RTG (dB)	39	55	59
Consommation au RTG (mA)	1.15	1.2	1.2
Durée moyenne de la pile (h)	160	150	150
Bruit d'entrée équivalent au RTG (dB SPL)	19	19	19
Distorsion harmonique totale à 500 Hz/800 Hz/1600 Hz (%)	1.0/1.5/1.5	1.5/1.5/1.0	1.0/1.0/0.5
Compatibilité électromagnétique (EMC)			
Immunité EMC par IEC 60118-13, 2011, force du champ 90/50/35 V/m, omni, IRIL bande basse/moyenne/haute (dB SPL)	22/22/22	20/27/30	30/35/38
Légende	Conditions de test		
— Écouteur xS	Type de pile : 312 ; Source : 1,3 V		
— Écouteur xP	Les mesures ont été obtenues en configuration féminée et avec un coupleur HA-1 (ANSI 3.7-1995) ou un stimulateur d'oreille obstruée (EN 60711, couplage suivant fig. 4 du test standard). Appareil auditif configuré selon les paramètres de test HANSATON scout.		
— Écouteur xSP	Les dômes ne doivent jamais être installés sur des patients aux tympans perforés, aux caisses de tympan exposées ou aux conduits auditifs altérés par chirurgie. Dans le cas de telles affections, nous recommandons l'utilisation d'un embout auriculaire sur mesure. Le niveau de pression sonore de ces aides auditives dépasse 132 dB SPL.		
	Nous nous réservons le droit de modifier les données techniques sans préavis lorsque des améliorations sont apportées.		

 **HANSATON**
hearing & emotions

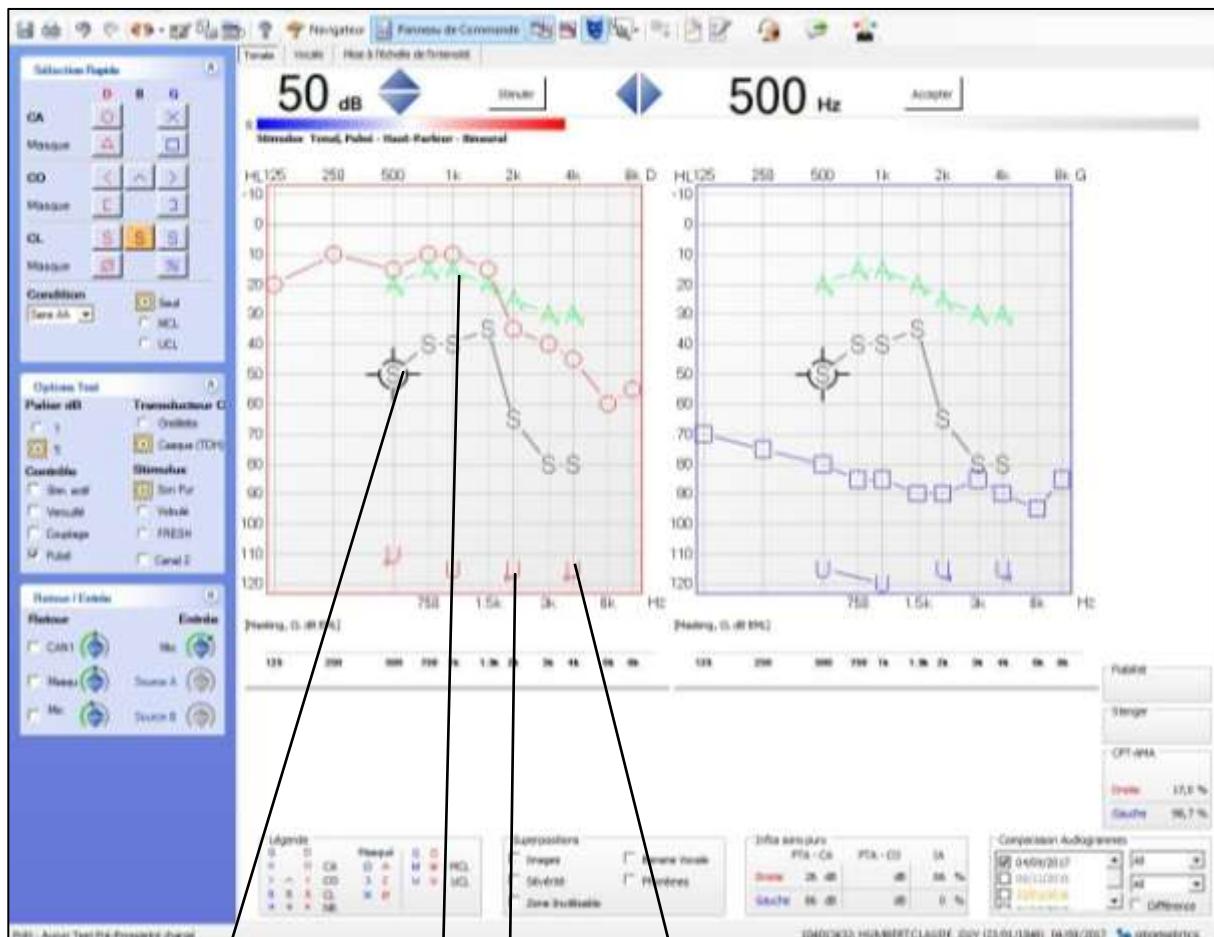
Hansaton Akustik GmbH - Sachsenkamp 5 - 20097 Hamburg - Germany - www.hansaton.com

Annexe 7

Annexe 8

AUDIOMETRIE VOCALE						
Listes cochléaires			Test phonétique de J.-C. Lafon			
Patient						
Date Audiomètre Opérateur Observations	Date	Vox M	Date	Vox M	Date	
	CD 1	plate	CD 1	plate	CD 1	
	11	15	12	16	13	17
	bru		bec		bouche	
	lande		dru		rôle	
	face		franc		feinte	
	neige		bouge		jute	
	dague		gomme		ligne	
	sec		rut		cure	
	tôle		pale		moule	
	meule		thème		sème	
	fine		ome		anis	
	prend		épals		pour	
	serre		tard		gris	
	peinte		sole		somme	
	voûte		teinte		rose	
	tr		vif		sente	
	thèse		sauve		poche	
	arche		fiche		sève	
	pigne		pagné		agneau	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	
	/ 50		/ 50		/ 50	

Annexe 9



Seuil d'inconfort

Seuils en champs libre sans les appareils

Seuils en champs libre avec les appareils

Annexe 10

AUDIOMETRIE VOCALE											
Listes cochléaires											
Test phonétique de J.-C. Lafon											
Patient n°2											
Date	Avec Phonak	Voix	Avec Phonak	Voix	Oreilles nues	Voix	Oreilles nues	Voix	AVS	Voix	
Audiomètre	RSB = 10dB	M	RSB = 5dB	F	RSB = 10dB	M	RSB = 5dB	F	sans appareil	M	
Opérateur	CD 1	piste	E	E	E	E	E	E	F	E	
Observations	1	5 25 35	2	6 26 36	3	7 27 37	4	8 28 38	5	9 29 39	
buée	V		✓		rôle	ue	abre	pwl	balle	V	
ride	V		dors	✓	ferme	3	sud	R	soude	V	
foc	V		sage	✓	tige	✓	fausse	d z	mur	V	
pis	e		gaine	✓	grain	✓	route	d	de	ms	
vague	z		fil	✓	caye	R	dogue	m	change	V	
lobe	V		fr	tu	bulle		acquis	s	gage	V	
mieux	V		boûle	el	simphe	en	ylle	b	trou	V	
natte	V		cale	✓	maïs	R	mare	V	mal	V	
égl	pe		pey	vd	pfeux		noce	V	tonne	V	
fort	V		sol	✓	bord	✓	appas	V	peur	V	
soupe	V		tempe	✓	rofille	e	route	V	rampé	t	
torde	u		façade	ue	oser	✓	qif	u R	puce	V	
vête	n		phage		site	✓	fele	f n	cor	V	
rage	l		myle		bulé	R i	yeulé		lite	l	
souche	V		chafette	f	sauve	✓	chafet		range	t	
rogne	V		règne	✓	chance	✓	bâché	R	mouche	V	
	10/50		16/50		16/50		20/50		5/50		
	201.		321.		321.		401.		101.		
AVS	Voix	AVS	Voix	AVS	Voix	AVS	Voix	AVS	Voix	AVS	Voix
sans appareil	M	sans appareil	M	avec phonak	M	avec phonak	M	avec phonak	M	avec phonak	M
50 dB	F	40 dB	E	60 dB	F	50 dB	E	50 dB	F	40 dB	E
CD 1	piste										
6	10 30 40	7	11 31 41	8	12 32 42	9	13 33 43	10	14 34 44		
file	V	brin	✓	bol	✓	bois	✓	tube	V		
doute	V	taile	p l	rade	✓	dard	✓	dalle	V		
faré		sauge	S	toffe	✓	faute	✓	four	V		
longé	S	langue	S	gène	✓	amas	✓	jante	V		
gayé	Z	gote	f s	raide	✓	gite	✓	gaz	V		
seul	V	molle	✓	étang	✓	ganse	✓	caissé	t t		
ami	V	drap	✓	roule	✓	cahot	✓	folle	V		
tasse	V	uif	✓	mise	✓	père	f	main			
chêne	V	flaine	b	année	✓	mine	✓	saine	V		
pré	V	pre		pile	✓	tronc	✓	pris	V		
sur	V	tan	P	sort	✓	passe	✓	soute	V		
crin	V	ph		masse	✓	tord	✓	file			
vol	V	zuey		fève	✓	élan	✓	bavé	R		
front	t	rêve	✓	pince	✓	voix	✓	bouse	V		
ruse	V	yasé	f R	bac	✓	pêse	✓	nappe	V		
louche	V	mèche	S	manche	✓	bûche	✓	riche	V		
bagne	V	teigne	P	saigne	✓	paille	✓	peigne	V		
	9/50		24/50		0/50		3/50		1/50		
	181.		481.				61.		141.		

Collège National d'Audioprothèse - 2006

N° d'identification :

Etude des performances de 3 systèmes CROS pour une meilleure compréhension

Soutenue le 10 novembre 2017

Par Liorah SABBAH

RESUME

La surdité unilatérale est une surdité très spécifique qui implique des mécanismes physiologiques qui vont au-delà de la l'atténuation de perception des sons. Une des voies de réhabilitation de la surdité unilatérale est le système CROS aérien ou osseux, soit par appareillage dit conventionnel ou prothèses auditives soit par implant dit BAHA (Bone Anchored Hearing Aid).

Or, beaucoup d'appareillages restent monauraux. Ceci étant dû parfois à la mauvaise acceptation du transfert des informations du côté cophotique au côté sain mais également au coût du système CROS, non remboursé à ce jour. Néanmoins, depuis fin 2015 Hansaton a développé le système tricros, considéré comme un appareillage conventionnel et programmable en système CROS. C'est pourquoi, j'ai voulu le comparer à d'autres systèmes disponibles jusque là sur le marché et d'en analyser les bénéfices pour le patient. Si les résultats s'avèrent intéressants, les patients atteints de surdité unilatérale pourrait bénéficier d'un nouveau type de correction auditive.

MOTS CLES

SURDITE	UNILATERALE	CROS	STEREOPHONIE
COMPREHENSION	BRUIT	BINAURALE	

Directeur de thèse	Intitulé du laboratoire	Nature
Anne GRINBERG	ACUITIS place d'Italie	Expérimentale

Annexe 11

AUDIOMETRIE VOCALE													
Listes cochléaires					Test phonétique de J.-C. Lafon								
Patient		Date		AVS		AVS		AVS		Avec WIDEX		Avec WIDEX	
Audiomètre				Voix	M	Voix	M	Voix	M	Voix	M	Voix	M
				AVS	60dB	AVS	50dB	AVS	40dB	Avec WIDEX	R&B = 10dB	Avec WIDEX	R&B = 5dB
Opérateur	CD 1	piste											
Observations	11	15	12	16	13	17	14	18	15	19			
bru	V		bec	V	bouche	V	beurre	V	jeat	P			
lande	V		dru	V	éointe	P	rude	V	dote	O			
face	V		franc	V	jute	V	fane	V	frein	V			
neige	V		bouge	V	ligne	V	lange	V	range	M			
dague	V		gomme	V	cu	V	figue	V	gale	V			
sec	V		rut	V	moule	V	latte	V	zouk	S			
tôle	V		pale	V	sème	N	mousse	V	légde	N			
meule	V		thème	V	alis	M	pic	V	mate	V			
fine	V		orne	V	pour	V	laine	V	plaisse	M			
prend	V		épais	V	gris	V	patte	R	port	K			
serre	V		tard	V	somme	V	ronge	V	sauf	V			
peinte	V		soie	V	rase	V	selle	V	filille				
voûte	V		teinte	V	sente	V	menthe	V	avie				
tri	V		vif	V	poche	V	vieux	V	muse	V			
thèse	V		sauve	V	sève	V	bis	V	biche	N			
arche	V		fiche	V	agneau	V	chape	V	meurt	B			
pigne	V		pagne	V			caille	V	digne	V			
	0 / 50		0 / 50		6 / 50		1 / 50		14 / 50		12 /	28 /	
AVS	Voix	AVS	Voix	AVS	Voix	Avec Hau	Voix	Avec Hau	Voix				
avec Hau	M	avec Hau	M	avec Hau	M	R&B = 10dB	M	R&B = 5dB	M				
60dB		50dB		40dB									
CD 1	piste												
16	20	17	21	18	22	19	23	20	24				
ronde	V	buse	V	bock	V	sun		botte	V				
fade	V	code	V	dîne	V	vide	V	danse	V				
beige	V	Foule	V	frais	S	fort	V	effet	V				
grue	V	range	S	ânage	N	cage	V	gel	V				
couche	V	gaule	V	gland	Y	rogne	V	gaffe	V				
lasse	V	cran	V	soc	S	coule	V	suc	V				
pâme	V	allait	V	toi	N	mèle	V	plié					
anneau	V	monte	V	mien	V	rime	V	amont	V				
épée	V	nasse	V	coupe	R	néant	V	yanne	T				
race	V	près	V	bras	T	pouce	V	brun	V				
soute	V	sac	V	assaut	V	trou	V	œur	B				
motte	V	tord	V	nier	V	pince	T	tir	V				
vide	V	rave	V	rente	V	dote	V	vanne	V				
case	V	bise	V	vote	V	bave	V	chose	V				
niche	V	sèche	V	sbize	B	fez	V	ponte	V				
bien	V	brou	V	roche	V	chasse	V	signe	V				
ligne	V	vigne	V	maille	V	hargne	V	chaume	V				
	0 / 50		1 / 50	4 / 50	4 / 50	3 / 50	6 / 50	5 / 50	10 /				
	2 /		2 /	14 /	14 /	3 /	6 /	6 /	10 /				
Collège National d'Audioprothèse - 2006													