



UNIVERSITE DE RENNES I

FACULTE DE MEDECINE

ECOLE D'AUDIOPROTHESE DE FOUGERES

ETUDE COMPARATIVE ENTRE LA COMPRESSION FREQUENTIELLE ET LA TRANSPOSITION FREQUENTIELLE CHEZ DES PATIENTS DEJA APPAREILLES

MEMOIRE SOUTENU EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'ETAT
D'AUDIOPROTHESE

PAR

HAMON Anne-Charlotte

Sous la direction de Monsieur SIFI Thierry

Maître de mémoire

Année 2015

Table des matières

Remerciements.....	page 4
Tables des illustrations.....	page 6
Liste des abréviations.....	page 8
Introduction.....	page 9
Rappels.....	page 10
I. La presbyacousie.....	page 11
a) Définition générale.....	page 11
b) Causes.....	page 11
c) Evolution.....	page 13
d) Traitements.....	page 13
e) Cas particulier : surdité en «pente de ski ».....	page 14
II. L'importance des fréquences aiguës.....	page 14
a) L'intelligibilité de la parole.....	page 14
b) La compréhension de la parole dans le bruit.....	page 15
c) La localisation spatiale.....	page 15
III. La modification fréquentielle.....	page 16
a) L'élargissement de la bande passante.....	page 16
b) Le décalage fréquentiel.....	page 17
IV. La place de correction auditive	page 18
a) La compression fréquentielle non linéaire.....	page 18
b) La transposition fréquentielle.....	page 19
c) La compression fréquentielle linéaire.....	page 20
d) La duplication fréquentielle.....	page 20
V. Questionnaire de satisfaction.....	page 21
Etude pratique.....	page 23

I.	Constat et hypothèse.....	page 24
II.	Etude préalable.....	page 24
	a) Choix de la fréquence de coupure.....	page 24
	b) Taux de compression/gain de la transposition.....	page 25
III.	Matériels et méthodes.....	page 26
	a) Population étudiée.....	page 26
	b) Matériel utilisé.....	page 27
	c) Déroulement et chronologie de l'étude.....	page 29
IV.	Résultats.....	page 35
	a) Gain prothétique vocal dans le silence.....	page 35
	b) Questionnaire APHAB.....	page 37
	c) Questions supplémentaires.....	page 39
	d) Analyse statistique des résultats.....	page 42
V.	Discussion et interprétation des résultats.....	page 45
	a) Discussion.....	page 45
	1. Test vocal dans le silence : étude objective.....	page 45
	2. Questionnaire APHAB : étude subjective.....	page 45
	3. Questions complémentaires.....	page 46
	b) Limites de l'étude.....	page 46
	Conclusion.....	page 48
	Bibliographie.....	page 50
	Annexes.....	page 53
	Résumé.....	page 64

Remerciements

Pour commencer, je tiens à remercier Monsieur SIFI Thierry de m'avoir accepté au sein de ses centres d'audioprothèse dans la région de Vannes, ainsi que pour tous ses conseils et le temps qu'il a su m'accorder et ce malgré son emploi du temps chargé. Il a pris le temps de répondre à toutes mes questions et m'a aidé dans la réalisation de mon mémoire.

Merci à Cécile TANDIN et Agathe BOVIS pour leur disponibilité, leur gentillesse ainsi que leur patience. Elles ont su approfondir mes connaissances tant au niveau de l'atelier (en me montrant leurs différentes techniques de réparations) qu'au niveau administratif (prise en charge, mutuelles, tiers-payant...). Ces deux domaines sont indispensables dans le métier d'audioprothésiste.

Je remercie Guillaume SOUGUES pour ses très bons conseils, son professionnalisme et sa sympathie

Je tiens aussi à remercier mes maîtres de stage de 1^{ère} année (Mr ESTOPPEY Philippe) et de 2^{ème} année (Mr HESSE Gildas) qui m'ont fait découvrir puis approfondir de nombreuses connaissances dans le domaine de l'audioprothèse.

Je souhaite remercier aussi tous les patients qui ont accepté de participer à mon étude, et pour le temps qu'ils m'ont consacré.

Merci également à toute ma famille pour leur soutien au quotidien, ainsi qu'à mes amis.

Enfin, merci à tous les professeurs de l'école d'audioprothèse J.E. BERTIN pour tous leurs enseignements au cours de ces trois années.

Tables des illustrations

Figure 1 : Courbes audiométriques moyennes en fonction de l'âge

Figure n°2: Récapitulatif des fréquences de coupure utilisées pour chaque patient

Figure n°3: Tableau récapitulatif de l'âge des patients

Figure n°4 : Boîte à moustache représentative de l'audiogramme tonal de l'oreille droite des patients de la population testée

Figure n°5 : Boîte à moustache représentative de l'audiogramme tonal de l'oreille gauche des patients de la population testée

Figure n°6: Schéma du positionnement du patient et des 3 haut-parleurs dans la cabine audiométrique lors de la passation des tests

Figure n°7: Boîte à moustache de l'audiométrie vocale en CL sans appareil.

Figure n°8: Boîte à moustache de l'audiométrie vocale en CL avec les appareils AUDEO V90

Figure n°9: Boîte à moustache de l'audiométrie vocale en CL avec les appareils FUSION 440

Figure n°10: Histogramme comparatif représentatif des pourcentages d'intelligibilité obtenus après l'audiométrie vocale en CL avec les deux types d'appareils auditifs.

Figure n°11: Tableau récapitulatif des réponses des patients à la catégorie «FACILITE DE COMMUNICATION» du questionnaire APHAB après l'essai des deux appareils auditifs

Figure n°12: Tableau récapitulatif des réponses des patients à la catégorie «REVERBERATION» du questionnaire APHAB après l'essai des deux appareils auditifs

Figure n°13: Tableau récapitulatif des réponses des patients à la catégorie «BRUIT AMBIANT» du questionnaire APHAB après l'essai des deux appareils auditifs

Figure n°14: Tableau récapitulatif des réponses des patients à la catégorie «SONS INDESIRABLES» du questionnaire APHAB après l'essai des deux appareils auditifs

Figure n°15 : Boîte à camembert représentant le choix des patients au niveau de l'appareil le plus confortable

Figure n°16 : Boîte à camembert représentant l'appareil choisi par les patients au niveau de la compréhension dans le calme

Figure n°17 : Boîte à camembert représentant les réponses des patients pour le choix de l'appareil préféré pour la compréhension en situation bruyante.

Figure n°18: Boîte à camembert représentant l'appareil préféré en général par les patients

Figure n°19: Valeur de p pour l'appareillage PHONAK en fonction des différents niveaux d'intensité

Figure n°20: Valeur de p pour l'appareillage WIDEX en fonction des différents niveaux d'intensité

Figure n°21: Tableau des résultats du test de WILCOXON pour la comparaison des résultats de l'audiométrie vocale dans le silence entre PHONAK et WIDEX

Figure n°22: Tableau des résultats du test de WILCOXON pour la comparaison des réponses des 2 questionnaires APHAB

Liste des abréviations

HF : Haute fréquence

BF : Basse fréquence

TF : Transposition fréquentielle

CF : Compression fréquentielle

CFNL : Compression fréquentielle non linéaire

dB : Décibel

HL : Hearing-loss

BAB : Bouchon antibruit

FC : Fréquence de coupure

HP : Haut-parleur

PHAP : Profile of Hearing Aid Performance

PHAB : Profile of Hearing Aid Benefit

APHAB : Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit

CL : Champ libre

GPV : Gain prothétique vocal

REUR : Real Ear Unaided Response

REOR : Real Ear Occluded Response

REIR : Real Ear Insertion Response

Introduction

De nos jours, l'évolution de la technologie des appareils auditifs ne cesse de progresser. Cependant, certaines pertes auditives telles que les pertes en «pente de ski» restent difficiles à appareiller. En effet, elles demandent beaucoup d'amplification sur les fréquences aiguës. Ces dernières sont indispensables à l'intelligibilité de la parole. Malheureusement, l'apport d'une amplification nécessaire dans ces zones de fréquences peut engendrer des problèmes tels que le phénomène de larsen ou le masquage des zones audibles adjacentes à une zone cochléaire morte, des cibles de gains mal adaptées : cela pouvant nuire à la compréhension du patient dans le bruit mais aussi dans le silence.

Ainsi, plusieurs systèmes sont proposés par les fabricants afin de pallier à ces difficultés : la transposition fréquentielle, la compression fréquentielle, la translation fréquentielle, la duplication fréquentielle. Les deux premiers sont les principales techniques utilisées.

Des études ont déjà été réalisées pour quantifier l'apport de chacun des deux systèmes de façon isolée: la compression fréquentielle et la transposition fréquentielle, mais aucune ne comparait réellement les deux entre elles. Il a donc paru judicieux de réaliser une étude comparative de ces deux technologies pour éclaircir le choix de l'audioprothésiste lors de l'orientation prothétique.

Le but de l'étude va être donc de savoir si un des deux systèmes proposés apporte une meilleure intelligibilité pour les patients en situation calme. L'objectif principal est d'apporter une aide à l'audioprothésiste dans son travail au quotidien, et non pas de réaliser une étude purement technique difficilement réalisable chez l'audioprothésiste «commun».

Après de brefs rappels théoriques, l'étude clinique sera expliquée précisément. Celle-ci comprendra en premier une courte étude objective puis une étude subjective. Les résultats seront ensuite exposés, analysés et interprétés. Suivra une discussion des résultats, puis la conclusion.

1^{ère} partie : Rappels

I. La presbyacousie

a) Définition générale

La presbyacousie est une surdité liée à l'âge qui a été décrite pour la première fois en 1891 par Zwaardemaker.[1] C'est une pathologie provoquant la dégradation lente et progressive de la fonction auditive résultant du processus de vieillissement de l'oreille débutant par les fréquences aiguës (le terme grec « presbys » signifiant « vieux »).

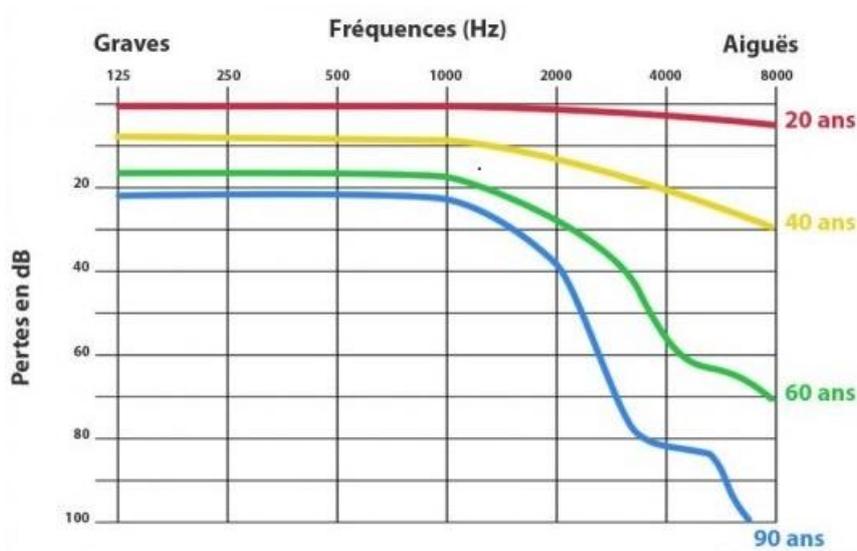


Figure 1 : Courbes audiométriques moyennes en fonction de l'âge

4 000 000 de personnes sont touchées par la presbyacousie en France, dont une large majorité de plus de 60 ans. C'est un véritable problème de santé publique dû au vieillissement de la population qui débute en moyenne vers 50 ans.

« La presbyacousie est à l'audition ce que la presbytie est à la vue. »

La principale plainte des patients atteints de presbyacousie est une difficulté à suivre une conversation dans un milieu bruyant, comme dans un restaurant, lors d'un repas de famille..., puis dans une situation calme lorsque la pathologie devient plus importante.

b) Causes

L'altération est dégénérative et touche l'ensemble du système auditif :

- Le système auditif **central**: cela se traduit par un trouble de la compréhension avec une perte neuronale des noyaux cochléaires du tronc cérébral.
- Le système auditif **périphérique**: En 1969, Gacek et Schuknecht ont mis en évidence 4 grands types de presbyacousie [2]:
 - **Sensorielle** : l'organe de Corti présente des altérations du type dégénératif dans la partie basale du premier tour. Ce type de presbyacousie se caractérise sur l'audiogramme par une chute importante de la courbe tonale liminaire dans les HF. Ce type de presbyacousie toucherait 80% des malentendants de plus de 70 ans. [3]
 - **Nerveuse** : il s'agit d'une perte de nombreux neurones auditifs du ganglion spiral qui intervient dans la transmission du potentiel d'action au système nerveux central. Ce type est caractérisé par une perte de discrimination auditive. Cette surdité se manifeste le plus souvent à un âge avancé principalement par une perturbation de l'audition dans le bruit.
 - **Métabolique** : une atrophie plus ou moins généralisée est retrouvée au niveau de la strie vasculaire (c'est elle qui produit l'endolymphe contenue dans l'organe de Corti). Elle est retrouvée majoritairement chez les femmes âgées de 30 à 60 ans. Le seuil auditif tonal est affecté de manière égale pour toutes les fréquences. Cela semble résulter d'une anomalie biochimique de l'endolymphe, d'où le terme utilisé «presbyacousie métabolique».
 - **Mécanique** : Elle est attribuée à une diminution des mouvements mécaniques de l'appareil cochléaire due à une perte de l'élasticité de la membrane basilaire (qui intervient dans le déclenchement de l'influx nerveux via les cellules ciliées internes) ou à une atrophie du ligament spiral. L'audiogramme tonal liminaire est caractérisé par une courbe descendante.

c) Evolution

L'évolution de la presbyacousie est progressive et variable. Une perte de 2 à 10dB par décennie en moyenne est observée , avec ensuite une accélération après 70 ans.

Il y a une importante variabilité inter-individuelle.

Une enquête a mis en évidence cette individualité interindividuelle. En effet, dans la population turque, la presbyacousie sensorielle est plus fréquente chez les hommes, la presbyacousie striale est plus fréquente chez les femmes [4], ce qui montre que la presbyacousie n'atteint pas les personnes de la même façon, l'atteinte dépend de nombreux facteurs : mode de vie, milieu de vie...

Cette pathologie en évoluant amène très vite le patient vers un isolement social.

Elle peut être associée, parfois, à des troubles de l'équilibre et à des acouphènes.

d) Traitement

Aucun traitement médical n'a fait ses preuves encore aujourd'hui.

La prévention est, aujourd'hui, de plus en plus importante pour retarder l'apparition de la presbyacousie : il faut alors éviter les traumatismes sonores, porter des protections (BAB...), et traiter les facteurs de risque cardiovasculaires ainsi que les troubles métaboliques qui peuvent provoquer la survenue prématurée d'une perte d'audition. Il est alors nécessaire de contrôler son audition assez régulièrement surtout pour les patients avec une prédisposition.

Une étude de 2015 rapporte que la détection précoce et le traitement approprié de la perte auditive sont essentiels pour minimiser les conséquences de la perte auditive. L'audiométrie HF peut se trouver utile pour le diagnostic précoce de la surdité (ototoxicité, exposition au bruit ou traumatisme sonore...). [5]

La réhabilitation auditive est le seul moyen de palier à la surdité, en ayant toutefois des limites quant au résultat. Dans le cas d'une presbyacousie, un

appareillage stéréophonique binaural est idéal. Il est proposé lorsque la perte auditive est supérieure à 30dB pour la fréquence 2000Hz. Dans le meilleur des cas, il faut que la prise en charge soit réalisée le plus précocement possible.

Cependant, amplifier le son perçu ne permet pas toujours une meilleure compréhension (due aux troubles de discrimination). Les résultats de l'appareillage sont alors difficiles à prédire.

e) Cas particulier : «Perte en pente de ski»

Ce type de surdité n'affecte principalement que les hautes fréquences, il est alors très difficile à détecter. C'est un processus «sournois». En effet, le patient continue à très bien entendre les bruits (grâce aux basses fréquences intactes), mais il éprouve de plus en plus de difficulté à comprendre en milieu bruyant comme au restaurant, puisque les hautes fréquences, responsables de la compréhension de beaucoup de sons de parole, sont affectées. D'où la gêne principale des patients qui est redondante, la compréhension dans le bruit. Cependant, en fonction de l'importance de la perte dans les aigus, puis dans les fréquences médiums, il est possible que la compréhension dans le calme soit également touchée.

II. L'importance de la préservation des fréquences aiguës

La perception des aigus a son importance dans trois domaines.

a) l'intelligibilité de la parole

En effet, la plupart des sons et des phonèmes qui contribue nettement à l'intelligibilité de la parole comprennent essentiellement des composantes aiguës. Les fréquences supérieures à 3000Hz représentent environ 25 % des indices vocaux audibles nécessaires à la compréhension du langage parlé.

Un exemple connu a été trouvé avec la présence ou l'absence du phonème /s/ dans la langue anglaise en fonction de si l'interlocuteur parle de un seul ou plusieurs articles. Ce phonème a un pic spectral situé entre le 4000 et 6000Hz,

selon celui qui le dit. Le pic peut même, dans certains cas, atteindre les 10000Hz. Ces signaux sont très importants particulièrement pour la perception de la parole en situation bruyante.

b) la compréhension de la parole dans le bruit

Les sons aigus du signal vocal ont une réelle importance car, contrairement aux sons graves, ils sont moins susceptibles d'être masqués par les composantes graves relativement importantes de la plupart des bruits courants.

c) la localisation spatiale

La perception des signaux aigus donne des indications précieuses sur l'identification et la localisation des sources sonores. Il est important que ces signaux aigus soient disponibles pour les deux oreilles.

Il est possible d'améliorer la capacité d'un malentendant à localiser des sons contenant des aigus en élargissant la bande passante des aides auditives, car la différence de niveau sonore entre les deux oreilles peut donner d'importants indices sur la localisation spatiale de la source sonore.

Comme la différence de niveau doit être perçue comme une différence de sonie entre les oreilles, pour que ces indices soient fiables, la bande passante des aides auditives doit permettre aux signaux aigus d'être entendus aux niveaux corrects.[6]

Une étude de 1998 [7] de Hogan et Turner a montré que, lorsque la perte auditive était supérieure à 55dB HL dans les hautes fréquences, les patients ne pouvaient pas bénéficier d'une amélioration de l'audibilité dans cette région fréquentielle. Cependant, de nouveaux systèmes ont été mis en place pour contrer ces résultats.

III. La modification fréquentielle

Il y a 2 méthodes qui permettent d'amplifier davantage les fréquences aiguës.

a) l'élargissement de la bande passante

Cette méthode consiste à élargir la bande passante de l'appareil auditif et à appliquer une amplification suffisante aux hautes fréquences pour la perception et la discrimination des phonèmes aigus. Cependant pour les zones inertes (= zones mortes cochléaires), il est impossible d'amplifier simplement les aigus car il y a un certain nombre de problèmes à prendre en compte.

→ L'amplification nécessaire à l'élargissement de la bande passante implique une amplification encore plus importante qu'avec la technique de compression des fréquences, Cela peut alors créer des artefacts impossibles à supprimer numériquement de part la saturation de la phase de sortie.

Beaucoup d'études montrent ces limites :

- En Juin 1999, une étude a examiné les limites au fait d'apporter de l'amplification « théorique nécessaire » chez les patients atteints d'une perte auditive importante dans les hautes fréquences. Selon cette étude, il a été montré que, lorsque la perte auditive dans les fréquences supérieures à 3000Hz était plus importante que 55dB HL, l'apport de gain dans cette région de fréquence n'amenait pas ou peu d'amélioration au score d'intelligibilité. [8].
- Murray et Byrne ont montré les mêmes résultats dans une étude australienne : l'amplification dans les hautes fréquences ne pouvait avoir qu'une valeur minime sur l'intelligibilité du patient, voire pouvait être négative sur certaines personnes. [9]
- S'ajoute une étude de 2001. Elle a suggéré, suite également à toutes les précédentes, qu'il était parfois inapproprié de fournir au patient l'amplification (dans les HF) prescrite par les méthodes normatives. [10]

Cependant d'autres études ont montré l'avantage de ce système.

→ Sachant que l'amplification est maximale dans la plage des fréquences dans laquelle le champ dynamique résiduel est le plus petit, le recrutement est bien supérieur dans cette zone. Cela nécessite une importante compression qui entraîne une qualité sonore moins bonne que dans les autres zones fréquentielles.

→ Enfin, généralement, les patients trouvent les fréquences aiguës plus désagréables que les fréquences graves.

- Une étude de Skinner et Miller a prouvé que lorsque l'appareillage auditif était réglé avec une bande passante la plus large possible (en l'occurrence pour l'étude : 266/6000Hz), le score de reconnaissance de la parole par le patient était meilleur que si la bande passante était plus étroite. Ce qui indique ainsi la valeur des hautes fréquences et donc l'importance d'essayer de les restaurer. [11]
- La bande passante étendue fournit, en effet, des informations beaucoup plus acoustiques aux oreilles permettant ainsi l'apport d'une qualité sonore améliorée, une meilleure intelligibilité de la parole, l'information spatiale supplémentaire et un apprentissage efficace. [12]

b) le décalage fréquentiel

Cette méthode de traitement sonore déplace les signaux aigus vers une plage de fréquences inférieures de sorte qu'ils soient plus facilement accessibles pour l'audition résiduelle de l'auditeur.

Une étude a été réalisée en 2014 ayant pour objectif de comparer trois options d'amplifications pour les patients avec une perte auditive en « pente de ski » : la bande passante limitée à 4000Hz, la bande passante élargie et la transposition fréquentielle. Les résultats ont montré que les patients préféraient une bande passante élargie pour l'utilisation dans la vie quotidienne et que la transposition de fréquence était la moins appréciée. De plus, les performances de la bande passante élargie étaient meilleures que celles de la bande passante limitée pour la reconnaissance de la parole, et similaires à celles de la TF. [13]

IV. Les différentes techniques de correction auditive

Différents systèmes ont été créés pour tenter de corriger au mieux les pertes auditives en « pente de ski ».

a) La compression fréquentielle

Elle existe chez différents fabricants mais c'est Phonak qui a été le premier à la mettre en place dans ses aides auditives. En revanche, tous les fabricants n'ont pas la même philosophie au niveau de son fonctionnement et sur son intérêt.

L'énergie présente dans les hautes fréquences est transférée par compression vers une zone fréquentielle inférieure. Cette technique fait appel à une fréquence de coupure, c'est-à-dire qu'en dessous de cette fréquence, le signal reste inchangé. Au dessus de celle-ci, tous les signaux sont comprimés.

En 2013, une étude avait pour objectif de déterminer si la compression fréquentielle était une meilleure option ou non que l'amplification conventionnelle et de déterminer l'impact de la compression fréquentielle sur les capacités de reconnaissance vocale. Cependant, elle a montré que la bande passante des aides auditives actuelles est insuffisante pour représenter les sons HF de la parole, en particulier pour les femmes. Les résultats de l'étude n'ont révélé aucune différence significative entre la compression fréquentielle et l'amplification conventionnelle sur les tests de localisation et sur la reconnaissance des consonnes. La perception de la parole peut même être négativement influencée par la CF, les formants fréquents étant trop comprimés et ne pouvant plus être distingués. [14]

Alors qu'une seconde étude, de Marchesin et Lorio, a démontré que la CF fournissait une amélioration significative de l'audibilité, de la détection des consonnes dans les HF et de la reconnaissance des monosyllabes. De plus, les participants voyaient leurs scores au test APHAB améliorés lorsque la CF était activée. [15] Tout comme celle d'Ellis et Munro, la CF peut conduire à des améliorations significatives dans les résultats de perception de la parole, dans le silence comme dans le bruit pour de nombreux patients.

Pour ce qui est de prévoir le résultat de l'activation de la CF dans les aides auditives, seuls les facteurs auditifs (c'est-à-dire l'importance de la perte auditive dans les hautes fréquences) sont importants. Ils sont en corrélation avec le degré du bénéfice obtenu grâce à la compression fréquentielle. Les facteurs cognitifs, eux, sont également un prédicateur du résultat mais seulement de l'amplification conventionnelle et non du bénéfice apporté par la CF. [16]

La CF, par contre, demande un certain temps d'adaptation. L'apprentissage varie selon les intervenants et les matériels, mais pas selon les stimuli. De plus, l'exposition passive au matériel permet aussi une amélioration de la compréhension. [17]

La compression fréquentielle créée par PHONAK n'est pas linéaire.

Pour finir, le bénéfice apporté par la CFNL dépend en grande partie du seuil d'audition à la fréquence 4000Hz. [18]

b) La transposition fréquentielle

Widex a mis en place la transposition fréquentielle dans son aide auditive Inteo en 2006.

Pour Widex, transposer c'est « un changement de tonalité sans pour autant modifier les aspects mélodiques, rythmiques et de nuance ». Les fréquences aiguës vont être transférées dans une plage fréquentielle plus basse. Elles viennent alors chevaucher certains sons de fréquences graves existants.

La transposition fréquentielle est linéaire et harmonique.

L'avantage principal de la TF est qu'elle peut permettre aux patients de réentendre des sons qu'ils n'entendaient plus. Cependant, l'inconvénient principal de la TF est que les sons transposés masquent ou déforment les sons originaux de BF et conduisent alors à de moins bonnes performances, à une moins bonne compréhension

Une étude de 2009 a cherché à savoir si la TF apportait ou non un réel bénéfice pour l'intelligibilité de la parole, car elle a un regain d'intérêt ces dernières années. Les tests ont été réalisés dans le calme et dans le bruit, à 3 intervalles de temps : au moment de la mise en place initiale, après un mois

d'adaptation, après deux mois d'adaptation. Pour toutes les conditions de tests, il a été trouvé une différence statistiquement significative mesurée entre la mise en place initiale et deux mois après l'adaptation. Il a donc été conclu que la TF linéaire améliore l'identification des consonnes fricatives au fil du temps. [19]

c) La compression fréquentielle «linéaire»

RESOUND a mis en place Sound Shaper qui est une compression de fréquence proportionnelle. D'après eux, une CFNL peut déformer le son et diminuer la qualité sonore. Le fait d'utiliser une approche linéaire, évite l'ajout de distorsion et permet le maintien d'une meilleure qualité sonore.

Similaire à une compression d'amplitude, Sound Shaper peut être décrit à l'aide d'une fonction entrée/sortie.

d) La duplication fréquentielle

Elle a été mise en place par Starkey, et elle est baptisée Spectral iQ. Elle est basée sur une nouvelle technique «Fonction d'Identification Spectrale» qui enregistre le signal d'entrée dans l'aide auditive. Cette dernière identifie et classe les caractéristiques acoustiques dans les HF. Une fois cette étape passée et les HF détectées, Spectral iQ traite le signal pour le reproduire à une fréquence plus grave dans la zone d'audition du patient. Il y a alors une reproduction réelle des indices vocaux aigus ce qui permet la limitation de la distorsion. Une étude sur 20 participants a montré que la plupart des patients étaient satisfaits quant à l'apport de ce système de traitement du signal.

Après de nombreuses études, les résultats sont généralement positifs quant au bénéfice apporté par les stratégies d'abaissement de fréquence. [20]

Dans l'étude proposée, seules la compression fréquentielle et la transposition fréquentielle sont étudiées. Les systèmes de duplication et de translation sont alors mis de côté.

Bien que la CF et la TF traitent les signaux sonores de manière très différente que la normale, les études portant sur leur utilisation par des adultes

comme par des enfants malentendants ont rapporté des avantages sur la perception de la parole. Les résultats des analyses ont confirmé que chacun des deux systèmes étaient efficaces pour améliorer la perception des hautes fréquences, bien que les deux techniques déforment aussi certains signaux. Ces résultats renforcent la nécessité d'une sélection appropriée dans l'installation de systèmes de traitement du son dans les aides auditives modernes en fonction des caractéristiques et des préférences individuelles des patients. [21]

V. Questionnaire de satisfaction : APHAB

Le questionnaire APHAB est un test d'auto-évaluation avec lequel les patients peuvent préciser l'importance de la gêne qu'ils rencontrent pour communiquer, ou en présence de bruits, dans différentes situations de leur vie quotidienne.

Il est destiné à être un élément de la procédure d'appareillage

L'origine de ce test est :

- Le PHAP (Profile of Hearing Aid Performance) qui a été développé en 1990 par Cox et Gilmore. Il est composé de 66 points, rangés en 7 catégories dont 5 concernent les problèmes rencontrés pour communiquer au quotidien et les 2 autres concernent l'aspect désagréable des sons de tous les jours. Le test s'intéresse aux expériences du patient quand il porte ses appareils auditifs seulement.
- Pour pouvoir réellement quantifier le bénéfice des appareils, une nouvelle rubrique a été mise en place pour évaluer l'état de gêne du patient sans ses appareils auditifs. Ainsi la comparaison est possible entre avec et sans les aides auditives. Le test PHAB est alors créé : Profile of Hearing Aid Benefit, en 1991 par Cox, Gilmore et Alexander. Ce nouveau test comprend exactement les mêmes catégories que celles du PHAP.
- Cependant, ces 2 tests ont été jugés trop longs pour être utilisés à des fins pratiques dans de bons nombres d'applications cliniques. Par contre, les médecins ont eu beaucoup d'intérêt pour ces questionnaires. C'est

pour cela qu'une version condensée (et donc plus courte) a été réalisée en 1995 : l'APHAB (Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit).

En annexe, se trouve le questionnaire APHAB.

2^{ème} partie : Etude pratique

I. Constat et hypothèse

De nombreuses études ont été réalisées isolément auparavant : certaines pour mettre en avant l'apport significatif ou non de la compression fréquentielle par rapport à la non activation du système et d'autres pour déterminer l'apport de la transposition fréquentielle.

Aucune étude, pourtant, n'a comparé les 2 systèmes dans une seule et même étude.

Les résultats des différentes études sont assez mitigés. En effet :

- certaines études mettent en avant l'apport significatif net de l'abaissement fréquentiel pour l'intelligibilité de la parole.
- d'autres montrent que le système n'apporte pas de bénéfice et peut même dans certains cas dégrader la compréhension de la parole.

L'étude comparative de ces 2 systèmes, au fond très différents, pourrait donc aider l'audioprothésiste dans l'exercice de son travail au quotidien.

Il a été alors difficile de faire une hypothèse quant au résultat de l'étude à savoir si un des appareils est plus efficace que l'autre pour la récupération des fréquences aiguës.

II. Etude préalable

a) Choix de la fréquence de coupure

Il a été démontré que la fréquence de coupure a plus d'impact sur la qualité du son que le taux de compression. [22] Il a été suggéré qu'il existe une large gamme de réglages de la compression fréquentielle et la transposition fréquentielle avec lesquels la qualité du son n'est pas détériorée.

Widex préconise, selon son «livre blanc sur la transposition fréquentielle », une fréquence de coupure qui doit être supérieure soit à une fréquence dont le seuil liminaire tonal est supérieur à 70 dB HL au-delà de 1000

Hz, soit à une fréquence dont le seuil liminaire tonal est précédé d'une chute supérieure à 50 dB par octave.

Pour Phonak, il serait bon de choisir comme fréquence de coupure, une fréquence qui précède une chute supérieure à 50dB par octave.

Il a donc été décidé de couper « la poire en deux » pour le choix de FC, c'est-à-dire qu'il a été pris la fréquence dont le seuil tonal succède d'une chute d'au moins 50 dB par octave et la fréquence qui précède cette chute. La moyenne de ces deux fréquences a été réalisée pour chaque patient. Il a été alors calculé une fréquence de coupure pour chacun.

Patient	Fréquence de coupure (Hz)
1	2100
2	2500
3	2300
4	3100
5	2100
6	3100
7	2300
8	3900
9	4000
10	3900
11	2100
12	3100

Figure n°2: Récapitulatif des fréquences de coupure utilisées pour chaque patient

Pour un échantillon de 12 personnes (n=12), la fréquence de coupure moyenne est 2875Hz et l'écart-type est de 746Hz.

b) Choix du taux de compression/gain de la transposition

Même si, d'après les études, cette caractéristique est moins importante, elle n'est pas à laisser de côté non plus. En effet, La réponse du changement acoustique, comme la parole ou les sons non vocaux, est sensible aux taux de compression fréquentielle. Il a été prouvé que des taux de compression excessifs peuvent réduire le contraste spectral entre les différents sons et alors induire un impact négatif sur la perception de la parole. [23]

Chez Phonak, lorsque le taux de compression augmente, la fréquence maximale diminue. Le taux de compression a été fixé de la même manière pour tous les patients. La largeur de la zone fréquentielle sur laquelle la compression fréquentielle jouait était de la même taille chez chacun.

Chez Widex, le paramètre «gamme de fréquences» peut être réglé selon deux modes :

- **mode de base** : la transposition agit sur les 3 canaux suivant la fréquence de coupure. Le son est transposé une octave en dessous.
- **mode élargi** : la transposition agit sur les 5 canaux suivant la fréquence de coupure. Les trois premiers canaux sont transposés comme pour la fréquence de base, et les deux canaux les plus élevés vont être abaissés d'un facteur un tiers.

Le mode élargi a été constamment mis en place.

Pour ce qui est du gain AE (Audibility Extender), il permet de faire la balance entre l'intensité des sons transposés et celui des sons non transposés. Il est réglable de -15 à +15. Par convention, il a été mis à +7 pour chaque patient.

III. Matériel et méthode

a) Population étudiée

Le recrutement des patients a été réalisé par téléphone, après l'étude complète du fichier patient, afin de trouver les audiogrammes pouvant correspondre à l'étude. Il a été effectué sur la base du volontariat. Il est arrivé, parfois, de proposer l'étude à des patients qui venaient en rendez-vous ou pour l'entretien trimestriel de leurs appareils auditifs.

Critères d'inclusion :

- patients âgés de plus de 18 ans,
- appareillage en mono ou stéréophonie mais sans l'utilisation de la compression fréquentielle ou de la transposition fréquentielle,

- absence de pathologies pouvant obstruer le conduit : bouchon de cérumen...,
- absence de troubles cognitifs,
- port de leurs anciens appareils quotidien (au moins 7/8 heures par jour).

Type de surdité :

Ce critère était le plus important, et le premier à être pris en compte.

- ➔ Presbyacousie bilatérale ou unilatérale (si oreille morte de l'autre côté) "avancée" : en pente de ski (50 dB/ octave au moins, moyenne reconnue par les fabricants)

En effet, une presbyacousie unilatérale pouvait être prise en compte si l'oreille controlatérale était « morte ». Dans le cas contraire, c'est-à-dire les patients ayant un côté sain, il était impossible d'introduire ces patients dans l'étude, car l'oreille saine aurait faussé les résultats.

Echantillon de population testée :

La population étudiée est constituée de 12 sujets malentendants déjà appareillés. L'échantillon comptabilise 6 femmes (50%) et 6 hommes (50%).

Les patients sont âgés de 59 ans à 81 ans, avec une moyenne d'âge de 71,3 ans, avec un écart type de 7,73 ans.

Répartition de l'âge :

Âge des patients	Nombre de patients
Moins de 65 ans	N = 3
De 65 à 74 ans	N = 4
75 ans et plus	N = 5

Figure n°3: Tableau récapitulatif de l'âge des patients

b) Matériel utilisé

- Un ordinateur équipé du logiciel NOAH 4 et du module d'audiométrie Free-fit, ainsi que du module in-vivo,
- Une chaîne de mesure Aurical Free-fit,

- Un casque TDH 39 connecté au Free-fit,
- Une cabine audiométrique (dont le niveau de bruit, dans les conditions normales d'utilisation, n'excède pas les 40 décibels A exprimés en niveau constant équivalent sur une durée de mesure d'une heure, et le temps de réverbération, pendant les mesures audioprothétiques, est inférieur à 0.5s à la fréquence de 500Hz.),
- 24 DREAM 440 FUSION (Widex),
- 24 AUDEO V90 (Phonak).

Questionnaire utilisé:

Le questionnaire APHAB (Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit) a été utilisé pour estimer le bénéfice des différents appareillages du point de vue subjectif du patient. Il est constitué de 24 affirmations réparties en 4 catégories :

- **Facilité de communication** : communication dans des conditions relativement favorables
- **Réverbération** : communication dans des salles réverbérantes (ex : salle de classe...)
- **Bruits ambiants** : communication dans des milieux avec un niveau élevé de bruit de fond
- **Sons indésirables** : aspect déplaisant ou gênant des bruits environnants

La colonne « non appareillé » a été enlevée. Seule la colonne « avec mon appareil » avec les appareils PHONAK puis avec les appareils WIDEX a été prise en compte afin de réaliser une étude comparative des différentes réponses.

Matériel vocal utilisé :

Les listes dissyllabiques de Fournier ont été choisies, car bien qu'elles fassent beaucoup appel à la suppléance mentale, elles sont représentatives de la réalité, le but de l'étude étant de se rendre vraiment compte du bénéfice qu'un patient peut ressentir dans la vie quotidienne.

Les listes étaient enregistrées avec une voix de femme, pour justement mettre en avant l'apport des appareils dans les fréquences aiguës (sachant que les malentendants avec une «pente de ski» sont plus gênés pour la compréhension des voix de femmes que des voix d'hommes).

c) Déroulement et chronologie

L'étude s'est déroulée sur une période de 2 mois minimum et se composait en théorie de 3 rendez-vous de durée variable.

Tout d'abord, les grandes lignes de l'étude ont été expliquées aux patients lors de l'appel téléphonique. Suite à leur accord, le premier rendez-vous était pris pour la semaine qui suivait.

Une feuille récapitulative du déroulement de l'étude a été faite aussi pour que les patients puissent repartir avec et pour qu'ils puissent la relire chez eux calmement.

Le déroulement du premier rendez-vous :

Durée : 1 heure.

Dans un premier temps, les conduits auditifs externes sont examinés par une otoscopie afin de s'assurer qu'aucune pathologie ne les obstrue.

Une audiométrie tonale est, ensuite réalisée, au casque, oreille droite puis oreille gauche ou inversement, pour vérifier que les seuils auditifs sont en concordance avec les demandes de l'étude.

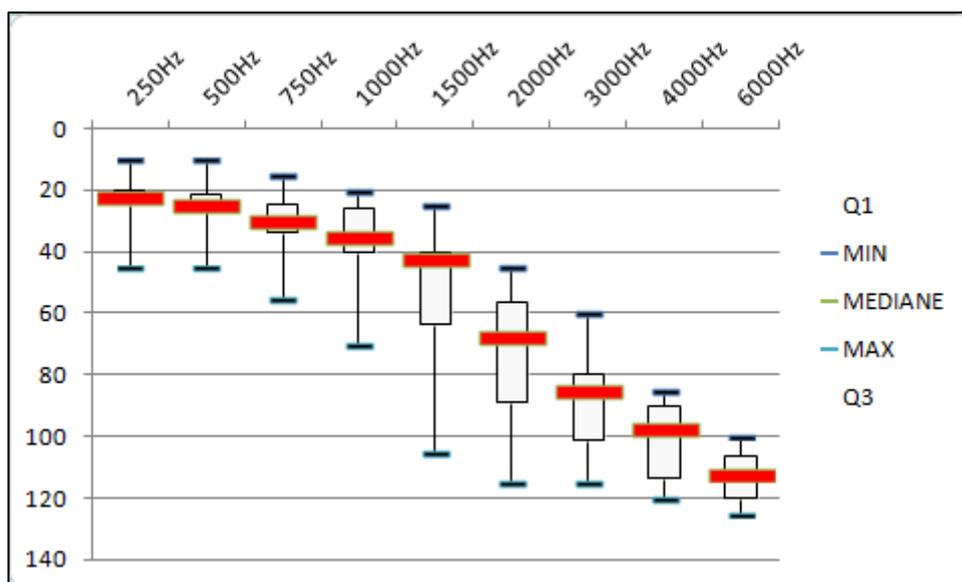


Figure n°4 : Boîte à moustache représentative de l'audiogramme tonal de l'oreille droite des patients de la population testée

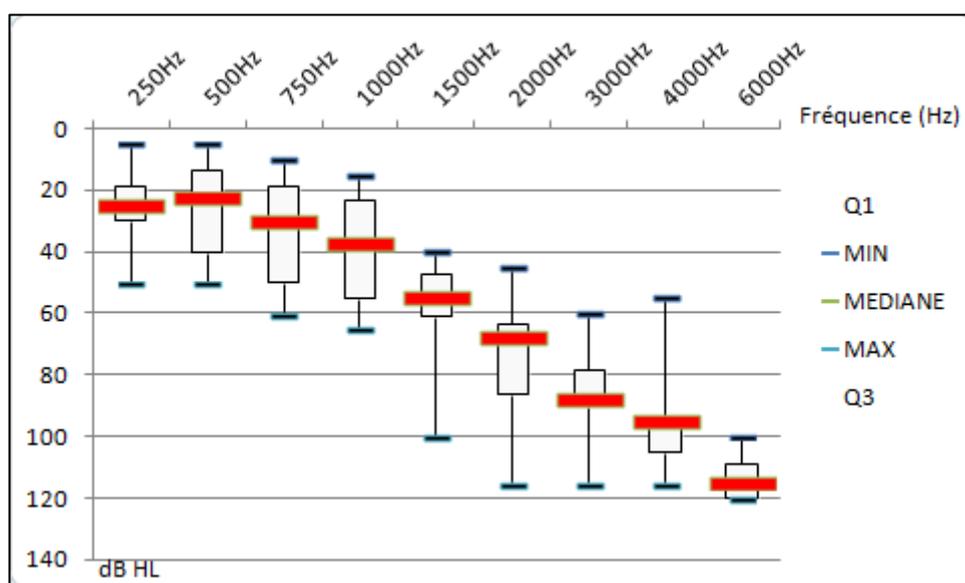


Figure n°5 : Boîte à moustache représentative de l'audiogramme tonal de l'oreille gauche des patients de la population testée

Suite à cet audiogramme, il était alors possible de calculer la fréquence de coupure, la plus adaptée, pour le réglage de chaque patient.

Une audiométrie vocale est également réalisée mais, cette fois, en champ libre, qui servira, pour la suite des tests, de repère. Pour cela, le signal est envoyé grâce à 3 haut-parleurs, le patient étant situé à 1 mètre du HP se trouvant en face de lui. Une première liste est envoyée à forte intensité afin d'obtenir les meilleurs résultats possible d'intelligibilité, (80dB) et pour mettre

en condition le patient. Une seconde liste est envoyée à une intensité moins importante (70dB), et ainsi de suite, jusqu'à ne plus obtenir aucune réponse. (60dB, 50dB, 40dB, voire 30dB...).

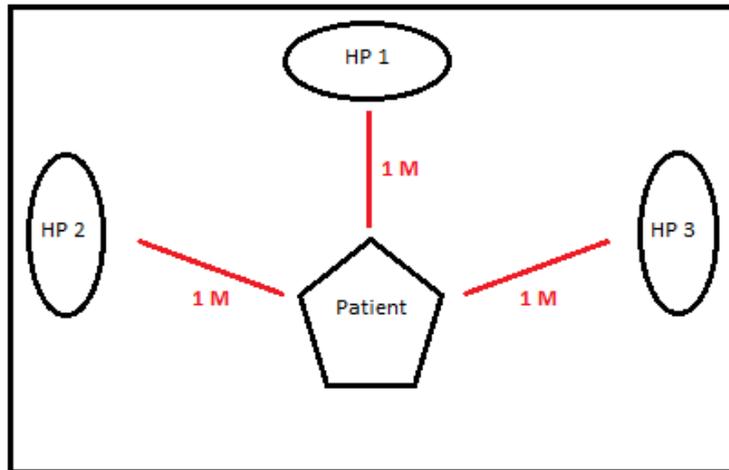


Figure n°6: Schéma du positionnement du patient et des 3 haut-parleurs dans la cabine audiométrique lors de la passation des tests

Il a été choisi d'utiliser les listes dissyllabiques de FOURNIER dictées par une voix de femme, afin de se rendre compte du bénéfice apporté dans la vie quotidienne.

Après un tirage au sort, le premier type d'appareil est attribué au patient pour qu'il le teste. Les appareils auditifs sont mis en place sur le patient, taille de l'écouteur, taille du dôme... Les patients étant tous presbyacousiques en «pente de ski», les dômes ouverts étaient préférés. En effet, les fréquences graves étant bien conservées, il est préférable de les laisser atteindre le tympan de façon naturelle. Il est inutile de les amplifier.

Un pré réglage avec NAL-NL1 est effectué après la mise en place des appareils.

La TF(ou CF) est activée à la fréquence de coupure que l'on a calculée au préalable afin de se baser sur le même principe :

→ **Pour ce qui est taux de compression** : le même est mis pour tous les patients,

→ **Pour le gain de la TF** : il est enclenché à 0 au premier RDV puis il est augmenté un peu plus, tous les 3 ou 4 jours afin d'y aller progressivement. Il ne faut pas « choquer » le patient. Le maximum mis était +7, pour que cela ne soit pas gênant pour les patients. Pour certains patients, le maximum était mis dès le premier jour, certains ont très bien supporté la TF dès l'activation.

Les réglages sont affinés grâce à une mesure in-vivo.

Affinage des réglages par la mesure in-vivo :

- calibration des sondes avec le micro de référence,
- mise en place des sondes dans les conduits auditifs, le plus proche du tympan possible,
- mesure REUR : mesure de la résonance naturelle du conduit,
- mesure REOR : obtention de la courbe de réponse en fréquence, à proximité du tympan, appareil éteint,
- mesure REIR : il a été essayé d'approcher le plus possible les courbes cibles sur les différents niveaux d'intensités. (45, 60 et 80dB), pour obtenir le réglage théorique idéal. Cependant, en fonction du ressenti du patient, il était possible que le gain soit un peu diminué sur toutes ou seulement certaines fréquences :
 - **en niveau de sortie** : permet de voir ce qu'entend le patient
 - **en gain** : permet de voir ce qu'apportent les appareils au patient.

« ... si vous voulez connaître ce que réalise vraiment l'appareil auditif chez votre patient quand il le porte, vous devez réaliser des mesures in-vivo... »

(D.B. HAWKINS et J.A. COOK, 2003)

Ces mesures vont permettre, pour la suite des tests, à servir de repère, afin de se baser sur les mêmes courbes.

Le patient part donc avec cet appareillage et est ensuite revu tous les 3 ou 4 jours pour affiner les réglages, afin d'obtenir le réglage « idéal » : augmenter petit à petit, arriver à la fréquence de coupure souhaitée... En effet, il est arrivé, que chez certains patients, à l'activation de la CF ou TF, il apparaissait une certaine gêne.

➔ La principale remarque à l'activation de la TF était, d'après les patients, un chuintement, ou un zozotement de l'interlocuteur du patient..

La fréquence de coupure et/ou le gain était(ent) alors baissé(s) pour que le patient s'y habitue progressivement. Cette étape n'a pas été réalisée sur tous les patients, car pour 3 d'entre eux, le réglage « théorique optimal » était atteint lors du premier réglage. Ces derniers n'ont ressenti aucune gêne lors de l'activation de la TF ou de la CF, et de la mise en place du réglage théorique idéal. Par contre, pour d'autres patients, ils ont été vus pour modifier leurs réglages plus de 6 rendez-vous en 2 semaines pour le premier essai comme pour le deuxième. Il a été préféré de les revoir plus souvent et d'augmenter le gain, la TF ou la CF progressivement plutôt que le contraire.

Une fois le «réglage théorique optimal» atteint, une mesure in-vivo était de nouveau faite. Le patient partait, ensuite, pour une période d'un mois d'essai.

Un questionnaire APHAB lui était attribué pour le test du premier appareillage, qu'il devait remplir pendant l'essai et qui était remis au testeur à la fin de cette période.

Le déroulement du «second» rendez-vous :

Durée : 1h/ 1h15

Après un mois d'essai, le patient revenait pour faire les tests finaux du premier essai :

➔ Gain prothétique dans le silence en CL avec les appareils : le patient est testé aux mêmes intensités que lors du premier test (celui effectué sans les appareils) pour pouvoir quantifier le bénéfice des appareils.

La patient exprimait ensuite son ressenti, parlait des avantages et des inconvénients du système testé, des situations dans lesquelles il avait vraiment senti un apport significatif et dans lesquelles il était plus gêné qu'avec ses anciens appareils... (certains patients remplissaient le questionnaire avec le testeur afin d'expliquer leurs réponses...). Il rendait le premier questionnaire rempli ce jour.

Vient ensuite, l'échange des appareils, c'est-à-dire que le patient qui a testé le système n°1 va tester le système n°2 et inversement le patient qui a testé le système n°2 va tester le système n°1.

Pour induire le moins de biais possible à l'étude, lors de l'échange des deux systèmes, les caractéristiques acoustiques sont préservées : taille de l'écouteur, puissance de l'écouteur, taille et forme du dôme, tout était exactement remis en place.

Partie réglage : de nouveau un pré-réglage basique était réalisé. La CF ou TF était activée puis une mesure in-vivo était faite. Grâce à celle réalisée lors du 1^{er} rendez-vous, les réglages du 2^{ème} appareillage étaient approchés le plus précisément possible des courbes précédemment obtenues.

Comme pour la première période d'essai, il était possible de revoir les patients quelques fois avant d'obtenir le réglage « théorique idéal ». Puis une fois celui-ci atteint, la période de test était, encore une fois, de 1 mois. Le patient repartait avec un nouveau questionnaire (le même que le premier mais vierge et avec quelques questions supplémentaires).

Les questions supplémentaires étaient mises en place pour savoir clairement l'avis du patient après l'essai des 2 types d'appareils auditifs.

Le dernier rendez-vous :

Durée : 45 minutes

Au retour du patient :

➔ un gain prothétique vocal dans le silence (en CL) est accompli.

Dans un premier temps, le ressenti du patient est de nouveau recueilli via le questionnaire, et par la mise en place d'un échange.

Une comparaison des résultats des deux questionnaires a été effectuée par la suite.

Une comparaison des résultats en audiométrie vocale a été également effectuée, avec transposition fréquentielle puis avec compression fréquentielle.

Lors des tests, les piles, ainsi que les produits d'entretien étaient fournis aux patients. Et, à la fin de l'étude, les patients repartaient avec une plaquette de piles gratuite, « petit cadeau » pour les remercier de leur participation, et de tout le temps qu'ils y avaient consacré.

IV. Résultats

a) Gain prothétique vocal dans le silence

Le gain prothétique vocal a été réalisé pour 6 intensités différentes : 80, 70, 60, 50, 40 et 30dB. Les résultats du GPV de chaque patient ont été rentrés dans un tableau. Ainsi, ils ont pu être, par la suite, comparés.

Les résultats obtenus à l'intensité 30dB n'ont pas été pris en compte pour la suite de l'étude, car aucun des patients ne répétaient de mots à ce niveau sonore.

Pour chaque patient, il a été comparé le score d'intelligibilité sans les appareils, avec les AUDEO V90 et avec les FUSION 440.

En annexe, se trouvent les graphiques correspondant à chaque patient.

La moyenne des scores d'intelligibilité, pour chaque niveau d'intensité, a été comparée.

Dans un premier temps, une audiométrie vocale dans le silence sans appareils a été réalisée afin de vérifier la cohérence des audiogrammes de chaque patient et de vérifier la possibilité ou non d'enclencher le système de CF (ou TF).

Voici les résultats :

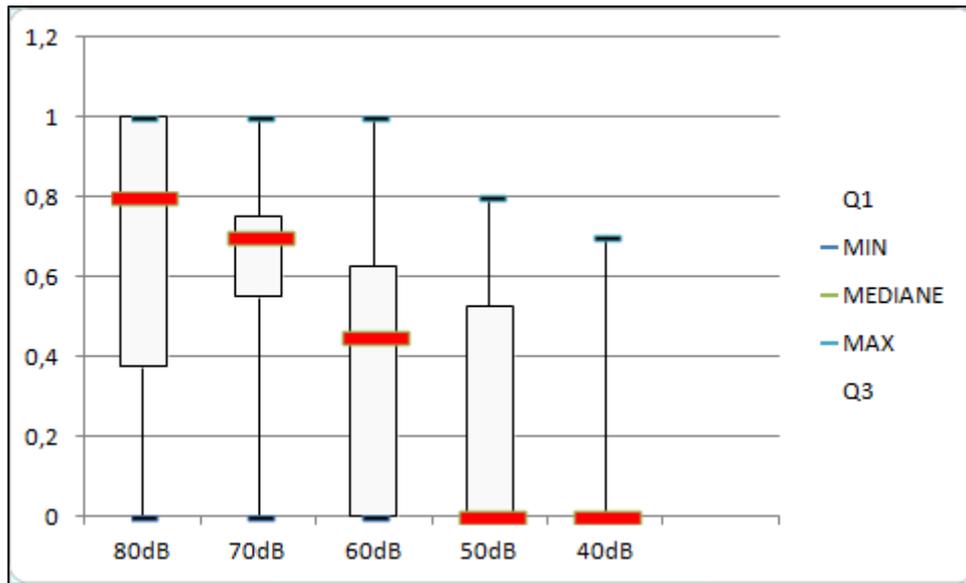


Figure n°7: Boîte à moustache de l'audiométrie vocale en CL sans appareil.

Il a été réalisé la même chose pour le test avec l'appareil PHONAK Audéo V90.

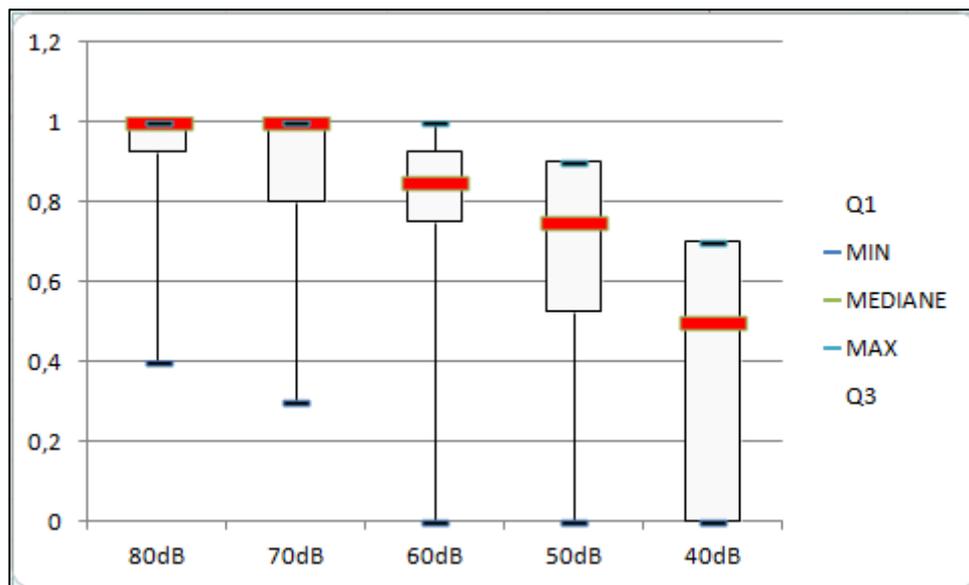


Figure n°8: Boîte à moustache de l'audiométrie vocale en CL avec les appareils AUDEO V90

Puis ensuite avec le test de l'appareil WIDEX Fusion 440.

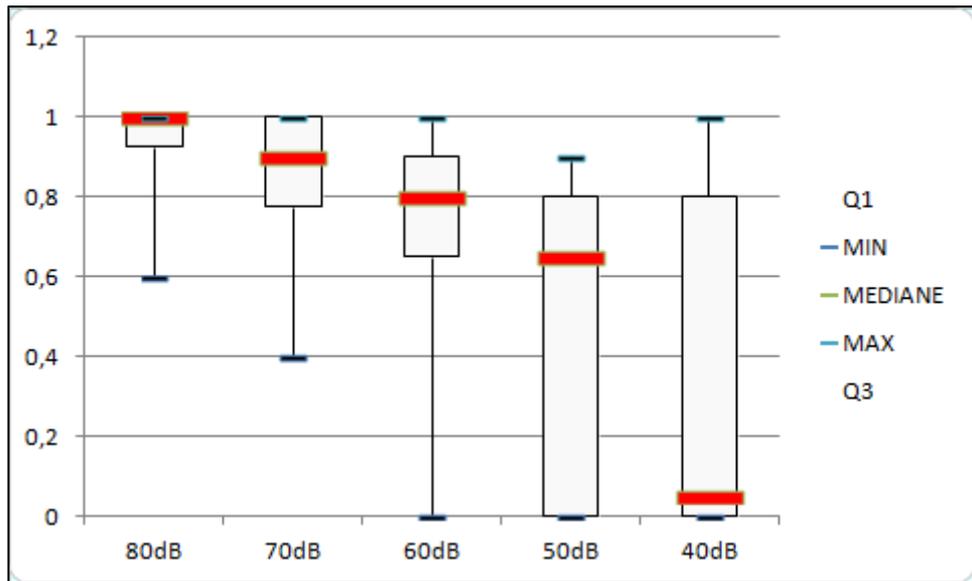


Figure n°9: Boîte à moustache de l'audiométrie vocale en CL avec les appareils FUSION 440

En faisant la moyenne des pourcentages d'intelligibilité pour chaque niveau d'intensité, une comparaison des résultats est possible.

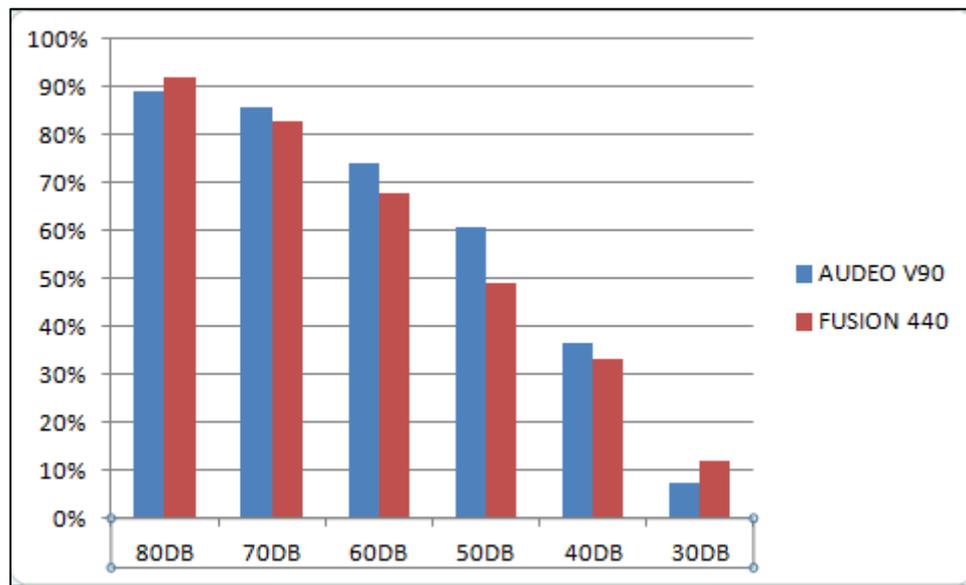


Figure n°10: Histogramme comparatif représentatif des pourcentages d'intelligibilité obtenus après l'audiométrie vocale en CL avec les deux types d'appareils auditifs.

b) Questionnaire de satisfaction APHAB

Avec le questionnaire APHAB, le patient doit noter la réponse qui correspond au mieux à son expérience quotidienne. Cependant, si le patient n'a pas été confronté à une ou plusieurs situations décrites, il doit alors penser à une situation similaire qu'il a vécue.

Il leur était possible de laisser des réponses en blanc, si pendant la période d'essai, ils ne s'étaient pas retrouvés dans une des situations. Cependant, aucun patient n'a laissé de case vide.

Dans les différents tableaux, les nombres entre 0 et 1 correspondent au niveau d'handicap pour chaque patient et ce pour chaque question. Le niveau 0 correspond à aucun handicap ressenti par le patient, le niveau 1 à 100 % d'handicap, le patient étant gêné dans toutes les situations.

La première catégorie est « **facilité de communication** » :

4	10	12	14	15	23	Facilité de communication			4	10	12	14	15	23
						AUDEO V90		FUSION 440						
0,01	0,12	0,01	0,12	0,01	0,01				0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,12
0,25	0,12	0,25	0,25	0,12	0,12				0,25	0,25	0,5	0,5	0,25	0,25
0,12	0,12	0,12	0,12	0,01	0,12				0,12	0,12	0,25	0,25	0,12	0,25
0,01	0,01	0,12	0,12	0,01	0,01				0,25	0,12	0,25	0,25	0,12	0,12
0,12	0,12	0,12	0,12	0,01	0,12				0,12	0,12	0,25	0,25	0,12	0,25
0,12	0,01	0,12	0,12	0,01	0,01				0,12	0,12	0,5	0,12	0,01	0,12
0,12	0,01	0,12	0,12	0,01	0,01				0,75	0,25	0,87	0,87	0,25	0,25
0,12	0,01	0,01	0,12	0,01	0,01				0,25	0,12	0,5	0,25	0,12	0,25
0,25	0,12	0,25	0,25	0,12	0,12				0,87	0,75	0,75	0,75	0,25	0,25
0,25	0,25	0,25	0,25	0,12	0,25				0,25	0,12	0,25	0,75	0,12	0,12
0,12	0,01	0,25	0,12	0,12	0,25				0,12	0,12	0,25	0,5	0,12	0,12
0,12	0,01	0,12	0,12	0,01	0,01				0,25	0,25	0,75	0,25	0,25	0,25

Figure n°11: Tableau récapitulatif des réponses des patients à la catégorie «FACILITE DE COMMUNICATION» du questionnaire APHAB après l'essai des deux appareils auditifs

La deuxième catégorie est « **réverbération** » :

2	5	9	11	18	21	Réverbération			2	5	9	11	18	21
						AUDEO V90		FUSION 440						
0,012	0,12	0,87	0,75	0,25	0,87				0,25	0,25	0,75	0,5	0,25	0,75
0,25	0,25	0,75	0,75	0,25	0,75				0,5	0,5	0,75	0,75	0,25	0,5
0,12	0,12	0,87	0,75	0,25	0,87				0,5	0,25	0,87	0,25	0,25	0,75
0,01	0,12	0,99	0,87	0,12	0,87				0,5	0,25	0,87	0,75	0,25	0,75
0,12	0,12	0,99	0,87	0,12	0,87				0,5	0,12	0,87	0,25	0,25	0,75
0,12	0,12	0,99	0,87	0,12	0,75				0,25	0,25	0,87	0,75	0,25	0,75
0,12	0,12	0,99	0,87	0,12	0,87				0,87	0,75	0,25	0,25	0,75	0,25
0,01	0,01	0,99	0,99	0,01	0,87				0,12	0,25	0,75	0,25	0,5	0,5
0,75	0,25	0,75	0,75	0,25	0,75				0,87	0,87	0,25	0,5	0,75	0,25
0,87	0,75	0,75	0,75	0,25	0,75				0,12	0,25	0,87	0,75	0,12	0,75
0,12	0,25	0,99	0,75	0,25	0,75				0,25	0,25	0,75	0,75	0,25	0,5
0,12	0,25	0,99	0,87	0,12	0,75				0,87	0,87	0,75	0,25	0,5	0,25

Figure n°12: Tableau récapitulatif des réponses des patients à la catégorie «REVERBERATION» du questionnaire APHAB après l'essai des deux appareils auditifs

La troisième catégorie est « bruits ambiants » :

1	6	7	16	19	24	Bruits ambiants		1	6	7	16	19	24
						AUDEO V90	FUSION 440						
0,5	0,87	0,75	0,75	0,12	0,25			0,5	0,75	0,25	0,25	0,01	0,25
0,87	0,25	0,25	0,5	0,01	0,25			0,12	0,99	0,75	0,12	0,01	0,25
0,75	0,25	0,25	0,5	0,12	0,25			0,12	0,87	0,75	0,12	0,01	0,5
0,87	0,25	0,12	0,75	0,75	0,12			0,25	0,75	0,5	0,25	0,12	0,25
0,75	0,5	0,25	0,75	0,75	0,12			0,12	0,87	0,75	0,25	0,12	0,25
0,75	0,25	0,12	0,75	0,5	0,12			0,75	0,25	0,25	0,75	0,25	0,25
0,87	0,25	0,25	0,87	0,75	0,12			0,01	0,87	0,87	0,25	0,01	0,25
0,87	0,12	0,12	0,87	0,87	0,01			0,12	0,87	0,87	0,12	0,01	0,5
0,5	0,75	0,5	0,5	0,01	0,25			0,01	0,99	0,99	0,01	0,01	0,75
0,12	0,75	0,5	0,25	0,01	0,5			0,12	0,87	0,87	0,25	0,01	0,25
0,75	0,25	0,25	0,25	0,12	0,25			0,75	0,25	0,25	0,5	0,12	0,25
0,87	0,12	0,25	0,87	0,75	0,12			0,12	0,87	0,87	0,12	0,01	0,25

Figure n°13: Tableau récapitulatif des réponses des patients à la catégorie «BRUIT AMBIANT» du questionnaire APHAB après l'essai des deux appareils auditifs

La quatrième et dernière catégorie est celle des « sons indésirables » :

3	8	13	17	20	22	Sons indésirables		3	8	13	17	20	22
						AUDEO V90	FUSION 440						
0,12	0,75	0,01	0,5	0,12	0,01			0,87	0,75	0,25	0,75	0,87	0,75
0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,12			0,87	0,87	0,25	0,75	0,87	0,75
0,25	0,5	0,12	0,5	0,25	0,25			0,75	0,75	0,25	0,87	0,75	0,87
0,12	0,12	0,25	0,12	0,12	0,12			0,75	0,87	0,25	0,5	0,87	0,75
0,12	0,12	0,25	0,25	0,25	0,25			0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,75
0,01	0,12	0,25	0,12	0,25	0,25			0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
0,5	0,75	0,5	0,5	0,5	0,5			0,75	0,87	0,99	0,87	0,99	0,87
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01			0,87	0,99	0,75	0,87	0,99	0,87
0,12	0,12	0,01	0,01	0,01	0,01			0,12	0,12	0,01	0,01	0,01	0,01
0,5	0,87	0,75	0,87	0,75	0,12			0,87	0,87	0,75	0,87	0,75	0,87
0,75	0,75	0,25	0,25	0,75	0,75			0,87	0,87	0,75	0,75	0,75	0,25
0,12	0,01	0,01	0,01	0,12	0,12			0,75	0,87	0,87	0,87	0,75	0,75

Figure n°14: Tableau récapitulatif des réponses des patients à la catégorie «SONS INDESIRABLES» du questionnaire APHAB après l'essai des deux appareils auditifs

En annexe, se trouvent les résultats du questionnaire APHAB pour chaque patient : en abscisse se trouvent les différentes catégories, et en ordonnées le pourcentage d'handicap.

c) Questions supplémentaires

Il a été ajouté 4 questions supplémentaires au second questionnaire remis au patient permettant de donner une idée au testeur du système préféré et ce, niveau de 4 facteurs :

- système qu'ils ont trouvé le plus confortable,
- meilleure compréhension dans le silence,
- celui qui apporte une meilleure compréhension dans le bruit,
- système préféré en général.

Voici les résultats pour la première question :



Figure n°15 : Boîte à camembert représentant le choix des patients au niveau de l'appareil le plus confortable

Pour la compréhension dans le calme, les résultats sont les mêmes :



Figure n°16 : Boîte à camembert représentant l'appareil choisi par les patients au niveau de la compréhension dans le calme

Au niveau de l'appareil préféré pour la compréhension dans le bruit :



Figure n°17 : Boîte à camembert représentant les réponses des patients pour le choix de l'appareil préféré pour la compréhension en situation bruyante.

Et enfin les résultats pour l'appareil en général préféré sont en accord avec les 3 autres catégories :

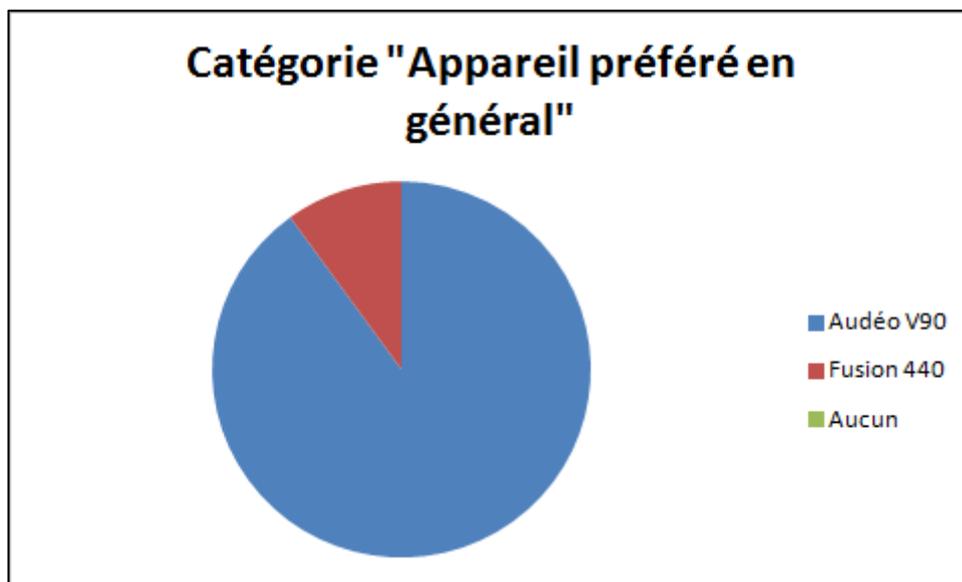


Figure n°18: Boîte à camembert représentant l'appareil préféré en général par les patients

Cependant, ces 4 résultats sont à prendre avec des « pincettes », car le questionnaire n'est pas validé. Ce sont des informations subjectives mais qui, néanmoins, ont permis d'informer le testeur sur les préférences des différents patients.

d) Analyse statistique des résultats

- **Audiométrie vocale dans le silence**

Une étude statistique est ensuite réalisée. Les tests sont effectués au risque d'erreur 5%. Il y a donc 5 chances sur 100 pour que l'hypothèse H0 soit rejetée. La probabilité d'être dans l'intervalle de confiance est de 95%.

La variable aléatoire est ordinaire : il s'agit du pourcentage de mots correctement répétés ou du pourcentage d'intelligibilité.

Les échantillons sont dépendants ou appariés, plusieurs mesures sont effectuées sur un même échantillon de patients : un gain prothétique vocal dans le silence avec les appareils auditifs PHONAK AUDEO V90 puis un mois plus tard avec les appareils auditifs WIDEX DREAM FUSION 440 (ou inversement).

Dans un premier temps, le test de normalité de Shapiro-Wilk effectué sous Excel permet de vérifier si l'échantillon suit une loi normale.

Il est posé :

- H0 : **Hypothèse nulle** : les données de la population sont normalement distribuées
- H1 : **Hypothèse alternative** : les données de la population ne sont pas normalement distribuées (alors l'hypothèse H0 est rejetée).

Le résultat de test oriente le choix du test statistique.

Intensité du signal vocal	Valeur de P	
à 80dB SPL	$p=0,0001135 \rightarrow p < 0,05$	Donc H0 est rejetée
à 70dB SPL	$P=0,0002126 \rightarrow p < 0,05$	Donc H0 est rejetée
à 60dB SPL	$p=0,003535 \rightarrow p < 0,05$	Donc H0 est rejetée
à 50dB SPL	$p=0,001003 \rightarrow p < 0,05$	Donc H0 est rejetée
à 40dB SPL	$p=0,002118 \rightarrow p < 0,05$	Donc H0 est rejetée

Figure n°19: Valeur de p pour l'appareillage PHONAK en fonction des différents niveaux d'intensité

Intensité du signal vocal	Valeur de P	
à 80dB SPL	$p = 8.846e-05 \rightarrow p < 0,05$	Donc H0 est rejetée
à 70dB SPL	$p = 0,005 \rightarrow p < 0,05$	Donc H0 est rejetée
à 60dB SPL	$p = 0.006293 \rightarrow p < 0,05$	Donc H0 est rejetée
à 50dB SPL	$p = 0.008747 \rightarrow p < 0,05$	Donc H0 est rejetée
à 40dB SPL	$p = 0.002598 \rightarrow p < 0,05$	Donc H0 est rejetée

Figure n°20: Valeurs de p pour l'appareillage WIDEX en fonction des différents niveaux d'intensité

Le test de Shapiro Wilk a montré que la distribution n'est pas normale quelques soient les conditions de test.

Le test qui a été utilisé ensuite pour l'analyse statistique est le test de WILCOXON. En effet :

- les données sont quantitatives
- l'étude est une comparaison
- 2 échantillons sont comparés
- les échantillons sont appariés
- et l'échantillon est inférieur à 30 ($N=12 < 30$) et la distribution n'est pas normale.

L'analyse statistique permet de vérifier s'il existe ou non une différence significative entre les résultats du gain prothétique vocal obtenus avec les AUDEO V90 et les DREAM FUSION 440, donc entre la compression fréquentielle et la transposition fréquentielle.

2 hypothèses sont de nouveau posées :

- **hypothèse H0, hypothèse nulle:** il n'y a pas de différence significative au niveau de la compréhension de la parole entre les appareils PHONAK (utilisation de la compression fréquentielle) et les appareils WIDEX (utilisation de la transposition fréquentielle),
- **hypothèse H1, hypothèse alternative:** il y a une différence significative au niveau de la compréhension de la parole dans le silence entre les appareils PHONAK (CF) et les appareils WIDEX (TF).

Niveau d'intensité du signal vocal	Valeur de P	
à 80dB SPL	$p = 0.5862 \rightarrow p > 0,05$	donc H0 est acceptée
à 70dB SPL	$p = 0.4427 \rightarrow p > 0,05$	donc H0 est acceptée
à 60dB SPL	$p = 0.1057 \rightarrow p > 0,05$	donc H0 est acceptée
à 50dB SPL	$p = 0.1247 \rightarrow p > 0,05$	donc H0 est acceptée
à 40dB SPL	$p = 0.7344 \rightarrow p > 0,05$	donc H0 est acceptée

Figure n°21: Tableau des résultats du test de WILCOXON pour la comparaison des résultats de l'audiométrie vocale dans le silence entre PHONAK et WIDEX

- **Questionnaire APHAB**

Il a été aussi réalisé une analyse statistique des résultats obtenus grâce au questionnaire APHAB rempli par les différents patients.

2 hypothèses sont ici aussi posées :

- **hypothèse nulle, H0:** il y a une différence significative au niveau de l'auto-évaluation (par le patient) du bénéfice prothétique entre les appareils PHONAK (utilisation de la compression fréquentielle) et les appareils WIDEX (utilisation de la transposition fréquentielle).
- **hypothèse alternative, H1 :** il n'y a pas de différence significative au niveau de l'auto-évaluation du bénéfice prothétique entre les appareils PHONAK (CF) et les appareils WIDEX (TF).

Le test utilisé a été, de nouveau, celui de Wilcoxon.

Les tests sont effectués au risque d'erreur 5%. Il y a donc 5 chances sur 100 pour que l'hypothèse H0 soit rejetée. La probabilité d'être dans l'intervalle de confiance est de 95%.

Catégories du questionnaire APHAB	Valeur de p	
Facilité de communication	$p = 0.0004 \rightarrow p < 0,05$	donc H0 est rejetée
Réverbération	$p = 0.6099 \rightarrow p > 0,05$	donc H0 est acceptée
Bruits ambiants	$p = 0.1762 \rightarrow p > 0,05$	donc H0 est acceptée
Sons indésirables	$p = 0.0004 \rightarrow p < 0,05$	donc H0 est rejetée

Figure n°22: Tableau des résultats du test de WILCOXON pour la comparaison des réponses des 2 questionnaires APHAB

- **Questions supplémentaires**

Il n'a pas été effectué d'analyse statistique pour ces questions supplémentaires. Elles avaient pour seul objectif : de se donner une idée des préférences des patients (non prises en compte pour l'étude clinique).

V. Discussion et interprétation

a) Discussion

1. Test vocal dans le silence

➔ L'audiométrie vocale a été réalisée avec la compression fréquentielle (PHONAK) puis avec la transposition fréquentielle (WIDEX) ou inversement.

Les résultats ont mis en évidence, après analyses statistiques que, quelque soit le niveau d'intensité du signal vocal, le choix du système TF ou CF n'a aucune influence sur les résultats du gain prothétique vocal dans le silence. En effet, il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus avec la compression fréquentielle activée et les résultats obtenus avec la transposition fréquentielle activée. Aucun des systèmes n'est meilleur que l'autre pour la compréhension de la parole avec l'utilisation de la même fréquence de coupure.

Il peut alors être conclu pour cette première partie, que, si la gêne principale du patient est la compréhension dans les situations calmes, l'audioprothésiste peut choisir les deux procédés de récupération des fréquences aigües car aucun des deux systèmes n'apporte un bénéfice plus important que l'autre à ce niveau.

2. Questionnaire APHAB : étude subjective

➔ Le questionnaire APHAB a été rempli après l'essai d'une période de 1 mois des appareils PHONAK, puis après avec les appareils WIDEX, ou inversement. Il a permis de recueillir le ressenti du patient.

Les résultats ont mis en évidence 2 choses :

➔ Pour les catégories FACILITE DE COMMUNICATION et SONS INDESIRABLES, il existe une différence significative entre les systèmes de compression et de transposition fréquentielle.

En effet, d'après les patients, le système proposé par le fabricant PHONAK permettrait une meilleure compréhension de la parole dans les milieux où les conditions sont relativement favorables à la communication. De même, avec les appareils Phonak, les sons indésirables de l'environnement sont perçus de façon moins gênante qu'avec les appareils Widex.

➔ Pour les catégories REVERBERATION et BRUITS AMBIANTS, que le patient porte les AUDEO V90 ou les FUSION 440, il n'existe pas de différence significative.

La communication dans les salles réverbérantes est aussi compliquée avec les 2 types d'appareils.

Pour la compréhension dans les milieux comportant un niveau de bruit élevé de fond, il est aussi difficile de comprendre la parole que ce soit avec la compression fréquentielle ou avec la transposition fréquentielle.

3. Questions supplémentaires

La mise en relation des résultats du questionnaire APHAB et des 4 questions supplémentaires a mis en évidence le fait que ce n'est pas forcément les appareils auditifs qui apportent le meilleur bénéfice qui sont les plus confortables.

Enfin, l'étude a pu mettre en avant aussi, la nette préférence des patients pour le système proposé par le fabricant Phonak et pour sa compression fréquentielle qui semble nettement plus confortable pour eux.

b) Limites de l'étude

Il existe plusieurs limites dans la réalisation de l'étude.

La première étant au niveau du réglage du gain de la transposition fréquentielle : cette étape est difficile car l'observation de l'apport de cette dernière lors de la mesure in-vivo n'est pas observable directement avec les

simples outils à la disposition de l'audioprothésiste dans son cabinet. Pour observer précisément ce qu'apporte l'appareillage au patient, il aurait fallu mettre en place un analyseur de spectre afin de se rendre réellement compte dans quelle zone la transposition fréquentielle agit.

La deuxième est la durée d'adaptation. D'après les fabricants, le patient n'est totalement habitué aux deux systèmes d'abaissement fréquentiel qu'après 6 mois environ. Malheureusement, le stage se déroulant sur une période de 4 mois, il aurait été compliqué de réaliser cette étude sur une durée supérieure de 2 mois (1 mois pour la transposition fréquentielle et 1 mois pour la compression fréquentielle).

Phonak propose comme fréquence de coupure la dernière fréquence avant la chute dans les fréquences aiguës.

Widex, quant à eux, proposent de prendre comme fréquence de coupure la fréquence qui succède à la chute d'audition de pente de 50dB/octave au moins. Pour l'étude, il a été indispensable de choisir la même fréquence de coupure pour introduire le moins de biais possible. Cependant, les résultats obtenus auraient été certainement meilleurs si le choix de la fréquence de coupure avait été réalisé comme le préconise chaque fabricant.

L'étude a comparé des marques d'appareils différentes. Bien que tous les systèmes de traitement du signal étaient désactivés, (réducteurs de bruits impulsionnels, réduction du bruit du vent, microphone adaptatif...), les algorithmes de calculs de chaque fabricant est à la base différents, ce qui peut induire des différences possibles dans les résultats. Il n'aurait, par contre, pas pu être possible de faire différemment car ce sont ces 2 marques qui proposent ces 2 systèmes différents.

Le nombre de patients dans l'étude était trop faible. Seulement 12 patients ont été recrutés. Tout le fichier patient, avec pourtant plus de 2500 personnes, a été étudié, mais le profil patient étant précis (perte auditive en pente de ski), le nombre de patient pouvant participer à l'étude était immédiatement réduit. Quelques patients ont également refusé de participer à l'étude car cette dernière demandait quand même beaucoup de temps et d'assiduité.

Conclusion

Phonak et Widex ont bien conscience aujourd'hui, tout comme les autres fabricants qui développent dans leurs aides auditives la compression/transposition fréquentielle, que les surdités en pente de ski (résultant d'une presbyacousie avancée) restent très difficiles à appareiller. La gêne principale des patients étant la compréhension dans le silence, il a été jugé intéressant de tester cette dernière grâce aux deux différents systèmes. L'objectif premier de cette étude était d'aider l'audioprothésiste dans sa pratique quotidienne de son travail en fonction des différents patients.

Pour la partie objective de l'étude, la compréhension dans le silence a été étudiée. L'étude ne montre pas de différence significative. En effet, un système n'est pas meilleur que l'autre. La compression fréquentielle n'apporte pas plus ni moins de bénéfice que la transposition fréquentielle au niveau de l'intelligibilité de la parole.

Pour ce qui est du ressenti du patient, c'est-à-dire du côté subjectif de l'étude, les résultats obtenus avec le questionnaire APHAB ont montré que la compression fréquentielle était plus appréciée par les patients au niveau de la facilité de communication et des sons indésirables. Par contre, pour les 2 autres catégories, il n'existait pas de différence significative entre les 2 systèmes.

Il a été démontré par les questions supplémentaires qu'au niveau du confort général, les patients préféraient de loin la compression fréquentielle à la transposition fréquentielle qui, apparemment, «chuintait» de façon importante et de plus était inconfortable.

Tous les patients avaient des anciens appareils avant le début de l'étude et n'utilisaient pas le système d'abaissement fréquentiel. 5 patients ont renouvelé par la suite leur appareillage pour les appareils de chez PHONAK de leur plein gré car ils trouvaient le bénéfice bien plus important que leurs anciens appareils.

A l'avenir, il serait intéressant de refaire cette étude sur une durée plus importante pour que l'habituation soit optimale (6 mois minimum) mais aussi avec un échantillon de patient plus important. De ce fait, les résultats

pourraient être beaucoup plus précis. Il serait intéressant également de réitérer l'étude en contrôlant la compréhension dans les situations bruyantes et la localisation spatiale dans l'objectif de voir si un des deux systèmes est plus efficace pour améliorer ce problème. Les fabricants mettent en avant un bénéfice pour ces 3 caractéristiques grâce à ces systèmes.

Il pourrait aussi être utile de refaire une étude similaire en jouant sur la fréquence de coupure (une des plus importantes caractéristiques à prendre en compte dans le réglage de la CF et de la TF) en la mettant plus élevée, moins élevée, et étudier l'impact de cette caractéristique sur la compréhension du patient dans le bruit comme dans le silence.

Bibliographie

Abréviations utilisées :

J. Acoust. Soc. Am. : Journal of the acoustical Society of America

Am. J. Audiol. : American Journal of Audiology

Aust. J. Audiol : Australian Journal of Audiology

Int. J. Audiol : International Journal of Audiology

Acta Otorrinolaringol Esp : Acta Otorrinolaringológica Española

Kulak burun bogaz ihtisas dergisi: KBB : Journal of ear, nose, and throat

J Am Acad Audiol. : Journal of the American Academy of Audiology

Int J Pediatr Otorhinolaryngol. : International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology

Trends Amplif. : Trends in Amplification (TIA)

[1] LEFEVRE, P.P. La Presbyacousie. *Revue médicale de Liège*, 1997, vol. 52, no 4, pp. 304-308.

[2]. Gacek RR, Schuknecht HF.(1969). Pathology of presbycusis. *Int. J.Audiol* ; 8:199-209.

[3] SAGLIER C., BLANCHET A. Psychologie et psychopathologie des malentendants. *Thèse de doctorat, psychologie clinique et psychopathologie*, 2007.

[4] Kaya KH¹, Karaman Koç A, Sayın İ, Güneş S, Canpolat S, Şimşek B, Kayhan FT. Etiological classification of presbycusis in Turkish population according to audiogram configuration. *Kulak Burun Bogaz Ihtis Derg*. 2015 Jan-Feb;25(1):1-8.

[5] Rodríguez Valiente A, Roldán Fidalgo A, Villarreal IM, García Berrocal JR. Extended high-frequency audiometry (9,000-20,000hz). Usefulness in audiological diagnosis. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 2015 May 26.

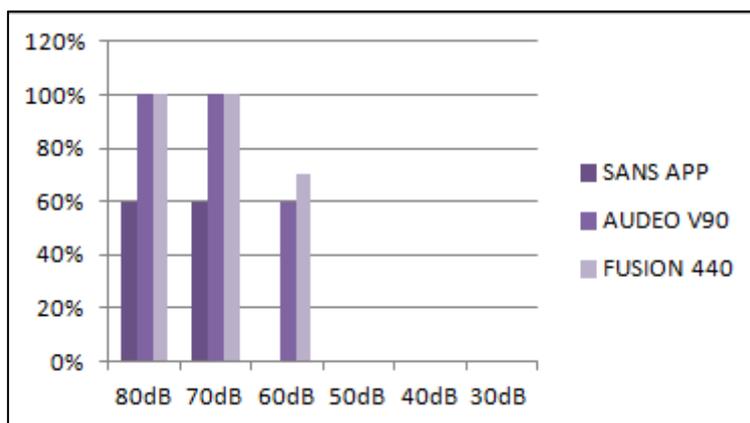
- [6] Dubno J. R., Horwitz A. R., Ahlstrom J. B. (2002). Benefit of modulated maskers for speech recognition by younger and older adults with normal hearing. *J. Acoust. Soc. Am.* 111, 2897–2907.
- [7] Hogan CA, Turner CW (1998 Jul.). High-frequency audibility: benefits for hearing-impaired listeners. *J Acoust Soc Am.*; 104(1):432-41.
- [8] Turner CW¹, Cummings KJ.(1999 Jun). Speech audibility for listeners with high-frequency hearing loss. *Am J Audiol.*;8(1):47-56.
- [9] Murray N, Byrne D. (1986). Performance of hearing-impaired and normal hearing listeners with various high-frequency cut-offs in hearing aids. *Aust J Audiol.*;8:21–28.
- [10] Amos NE, Humes LE. The contribution of high frequencies to speech recognition in sensorineural hearing loss. In: Breebart DJ, Houtsma AJ, Kohlrausch A, Prijs VF, Schoonhoven R, editors. *Physiological and Psychophysical Bases of Auditory Function*. Maastricht, *The Netherlands: Shaker Publishing, BV*; 2001. pp. 437–444.
- [11] Skinner MW, Miller JD (1983). Amplification bandwidth and intelligibility of speech in quiet and noise for listeners with sensorineural hearing loss. *Audiology.*;22(3):253-79.
- [12] Beck DL, Olsen J. (2008): Extended bandwidths in hearing aids. *Hearing Review*. Vol 15, No 11, pages 22-26.
- [13] Lau CC, Kuk F, Keenan D, Schumacher J. Amplification for listeners with a moderately severe high-frequency hearing loss. *J Am Acad Audiol.* 2014 Jun;25(6):562-75.
- [14] Perreau AE¹, Bentler RA, Tyler RS. The contribution of a frequency-compression hearing aid to contralateral cochlear implant performance. *J Am Acad Audiol.* 2013 Feb;24(2):105-20.
- [15] Marchesin VC, Iório MC. Study of the long-term effects of frequency compression by behavioral verbal tests in adults. *Codas*, 2015 Jan-Feb;27(1):37-43.

- [16] Ellis RJ¹, Munro KJ. Predictors of aided speech recognition, with and without frequency compression, in older adults. *Int J Audiol*. 2015 Jul;54(7):467-75.
- [17] Dickinson AM¹, Baker R, Siciliano C, Munro KJ. Adaptation to nonlinear frequency compression in normal-hearing adults: a comparison of training approaches. *Int J Audiol*. 2014 Oct;53(10):719-29.
- [18] Zhang VW¹, Ching TY², Van Buynder P², Hou S², Flynn C³, Burns L², McGhie K³, Wong AO. Aided cortical response, speech intelligibility, consonant perception and functional performance of young children using conventional amplification or nonlinear frequency compression. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2014 Oct;78(10):1692-700.
- [19] Kuk F¹, Keenan D, Korhonen P, Lau CC. (2009 Sep) Efficacy of linear frequency transposition on consonant identification in quiet and in noise. *J Am Acad Audiol*.; 20(8):465-79.
- [20] McCreery RW, Venediktov RA, Coleman JJ, Leech HM. An evidence-based systematic review of frequency lowering in hearing aids for school-age children with hearing loss. *Am J Audiol*. 2012 Dec;21(2):313-28.
- [21] McDermott HJ¹. A technical comparison of digital frequency-lowering algorithms available in two current hearing aids. *PLoS One*. 2011;6(7).
- [22] Parsa V¹, Scollie S, Glista D, Seelisch A. Nonlinear frequency compression: effects on sound quality ratings of speech and music. *Trends Amplif*. 2013 Mar;17(1):54-68.
- [23] Kirby BJ¹, Brown CJ. Effects of Nonlinear Frequency Compression on ACC Amplitude and Listener Performance. *Ear Hear*. 2015 May 6.
- [24] Ellis RJ¹, Munro KJ. Benefit from, and acclimatization to, frequency compression hearing aids in experienced adult hearing-aid users. *Int J Audiol*. 2015 Jan;54(1):37-47.

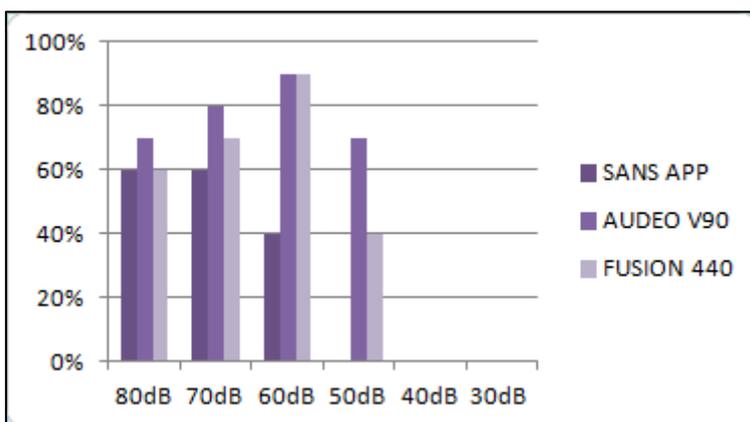
Annexes :

- 1. Comparaison de l'audiométrie vocale en champ libre sans appareils, avec AUDEO V90, avec FUSION 440 :

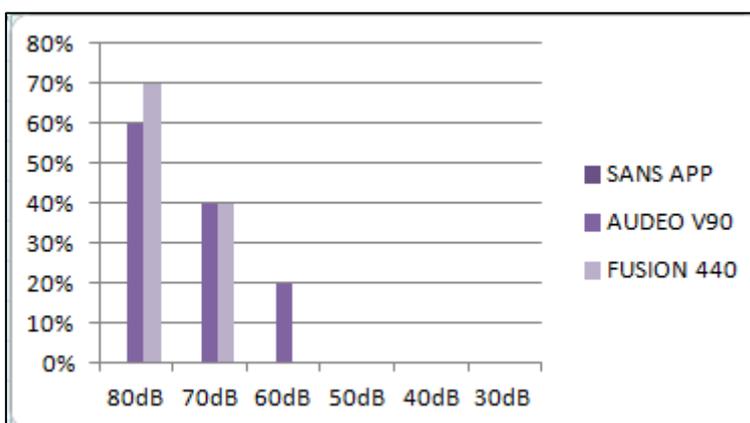
Patient n°1 :



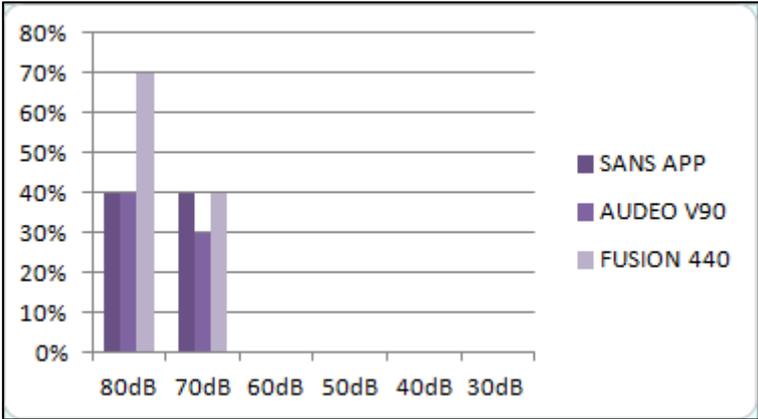
Patient n°2 :



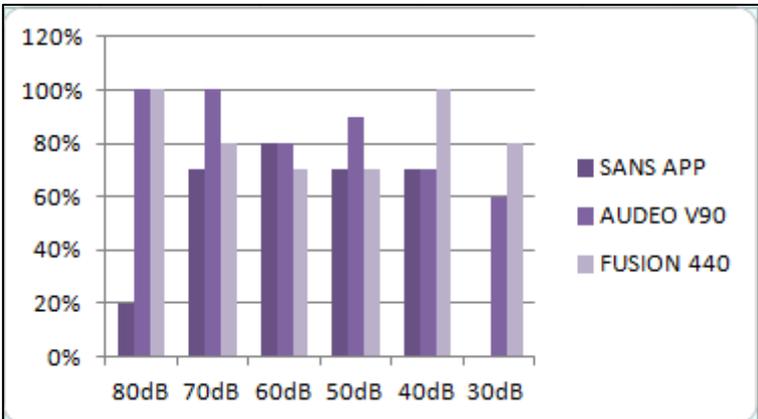
Patient n°3 :



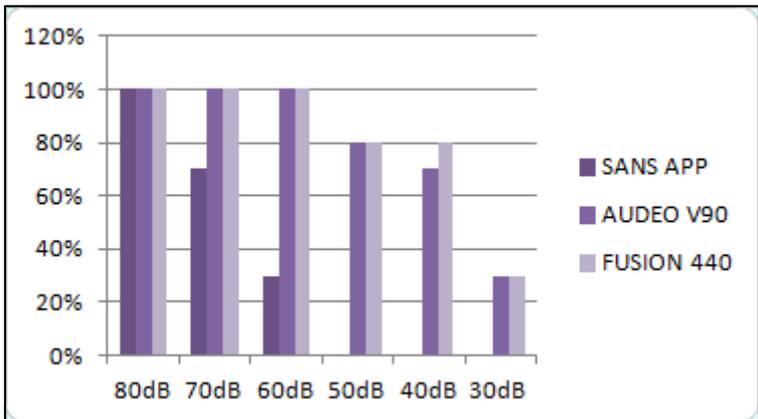
Patient n°4 :



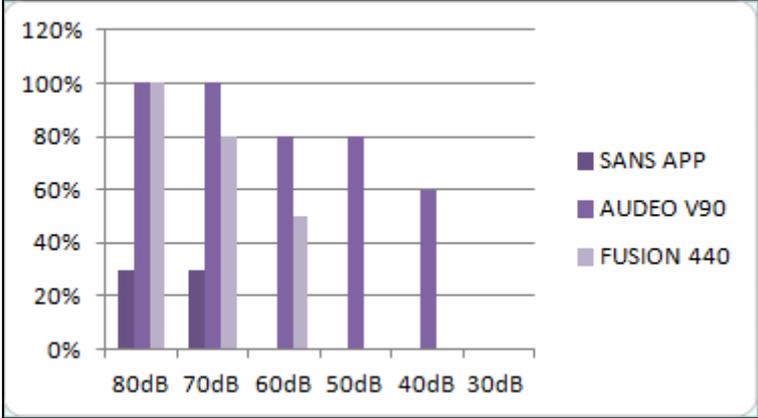
Patient n°5 :



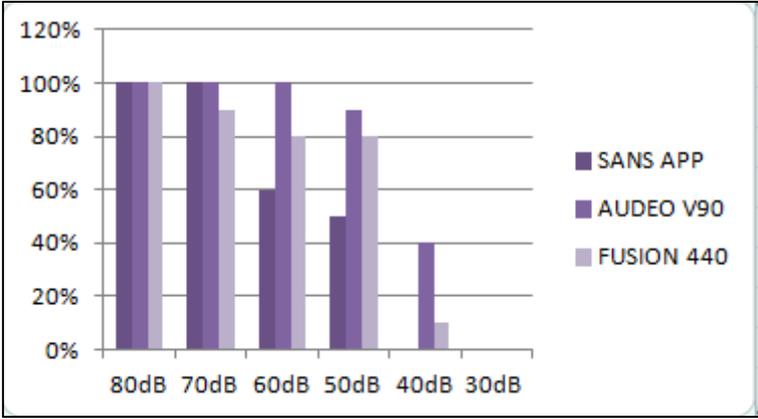
Patient n°6 :



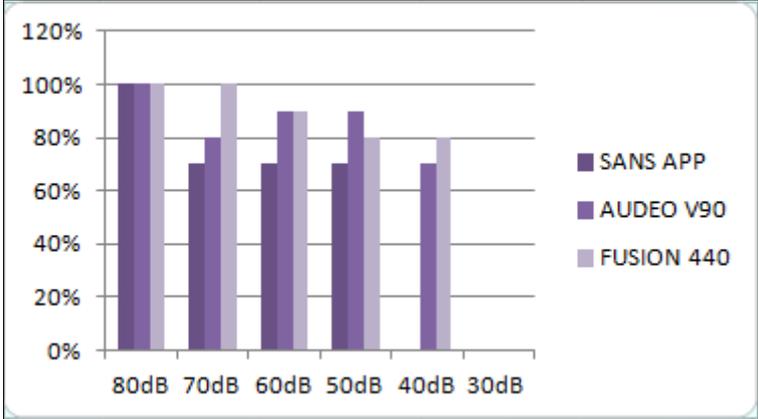
Patient n°7 :



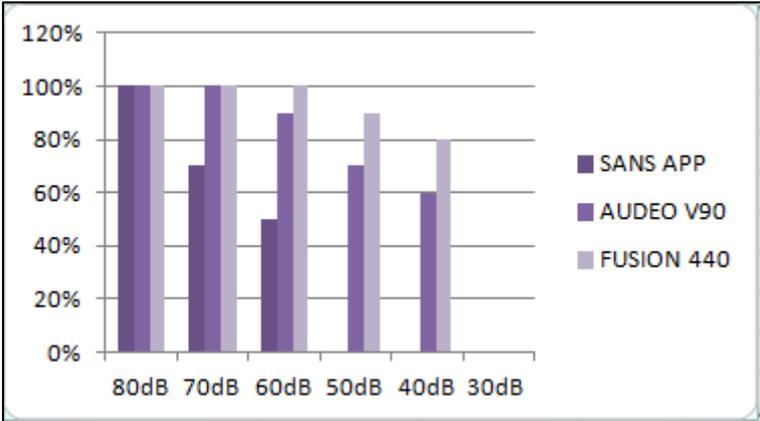
Patient n°8 :



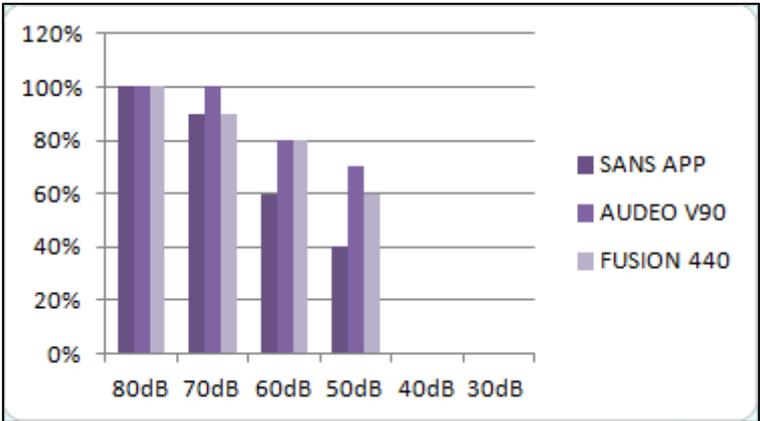
Patient n°9 :



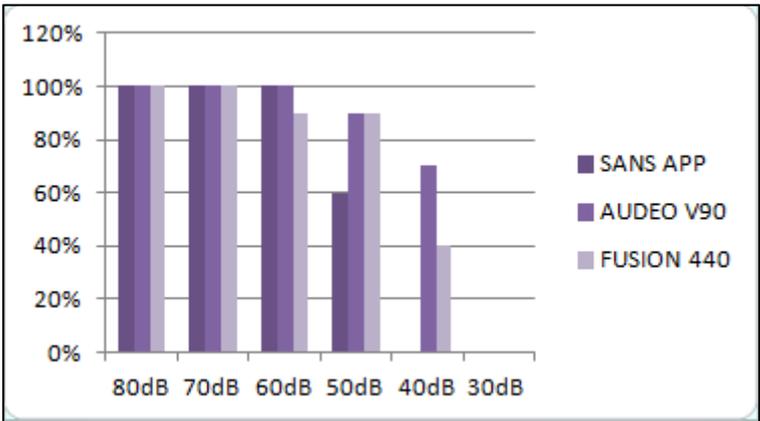
Patient n°10 :



Patient n°11 :

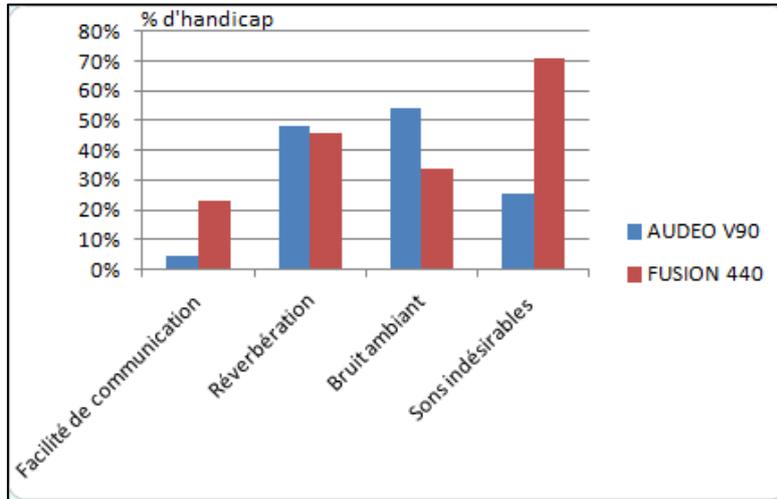


Patient n°12 :

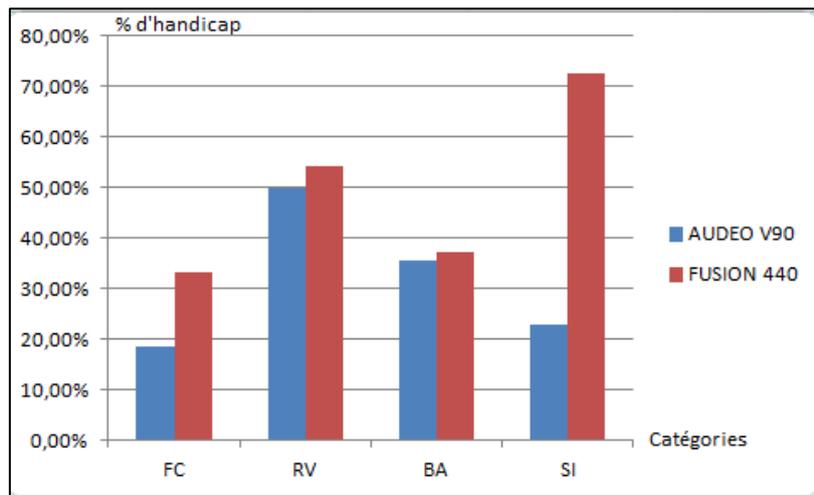


→ 2. Comparaisons des résultats du questionnaire APHAB entre les 2 appareils auditifs pour chaque patient :

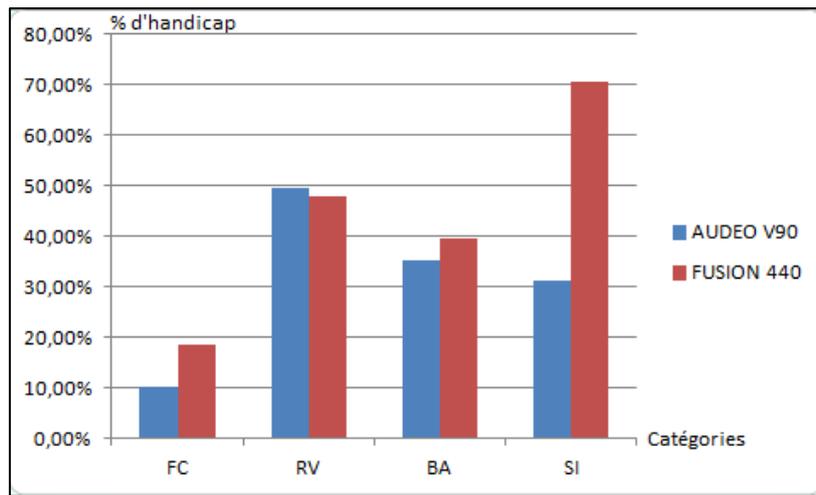
Patient n°1 :



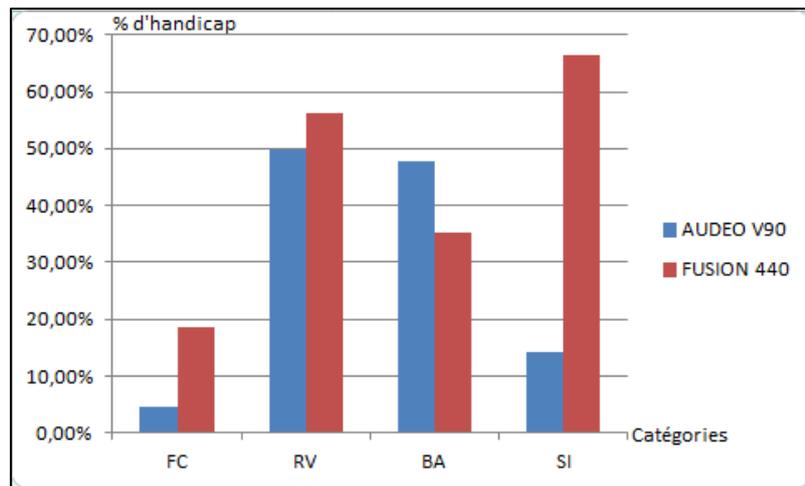
Patient n°2 :



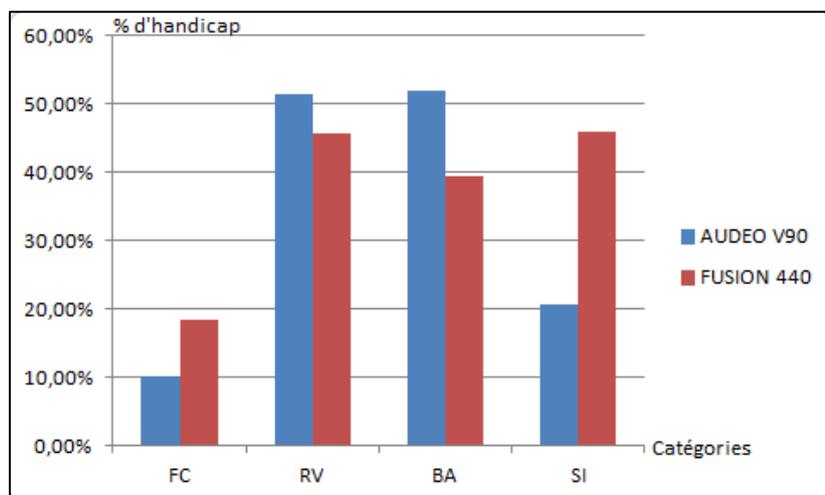
Patient n°3 :



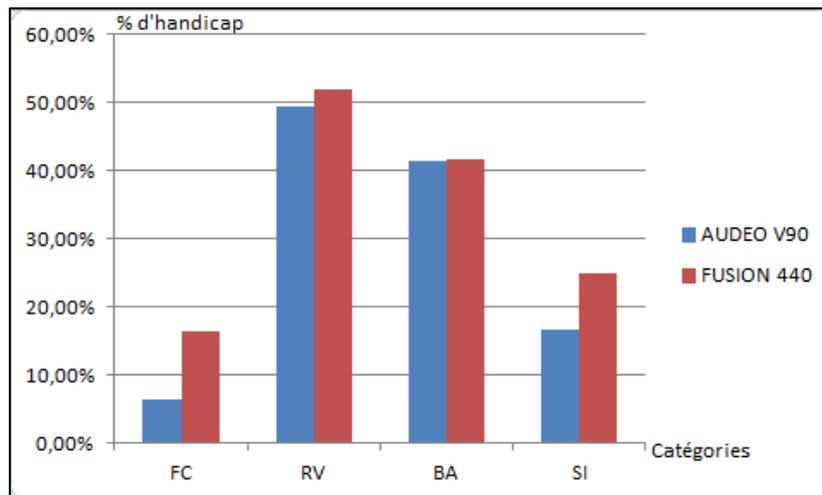
Patient n°4 :



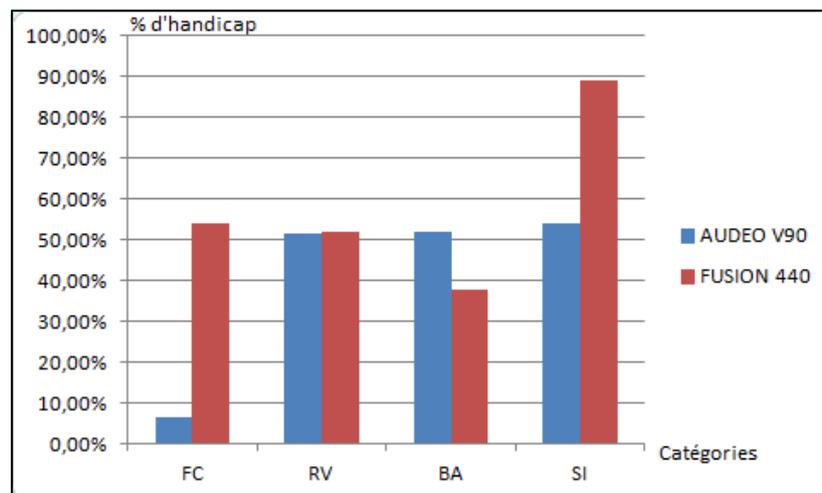
Patient n°5 :



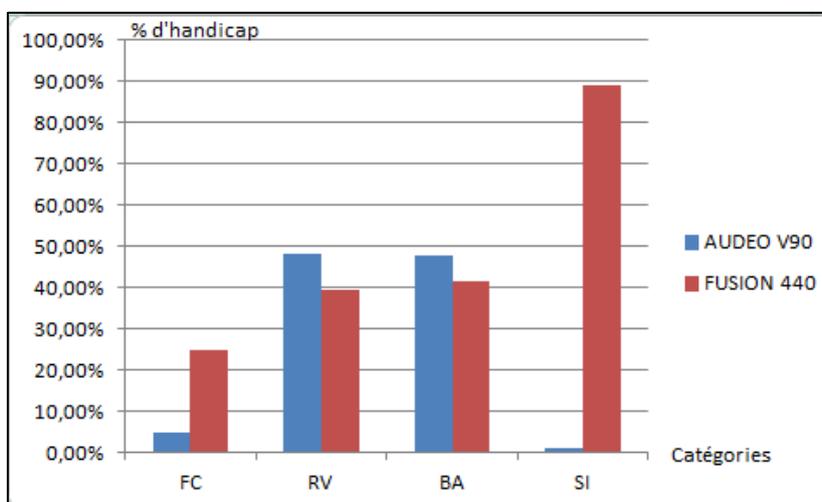
Patient n°6 :



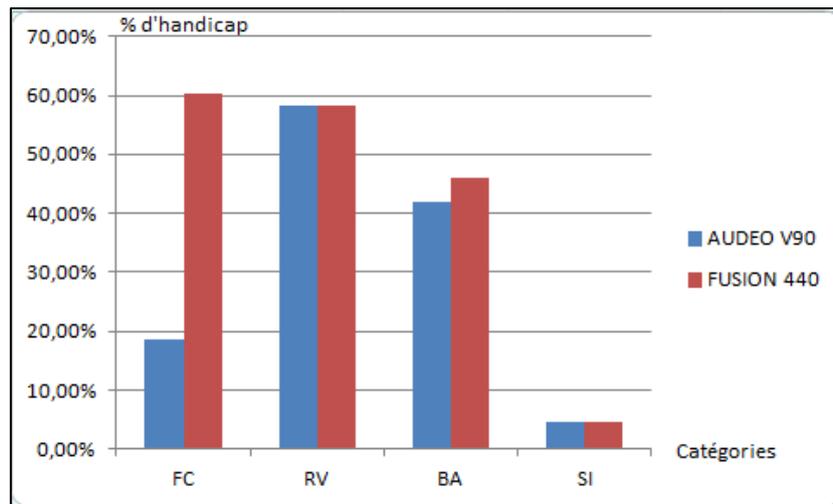
Patient n°7 :



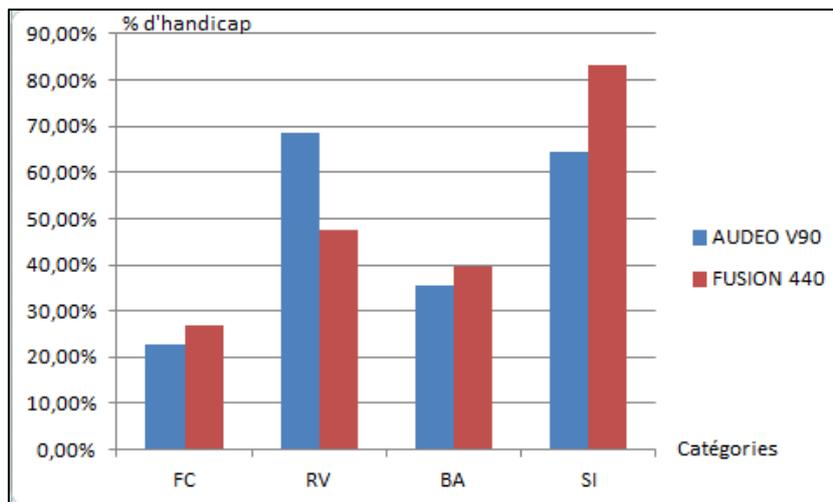
Patient n°8 :



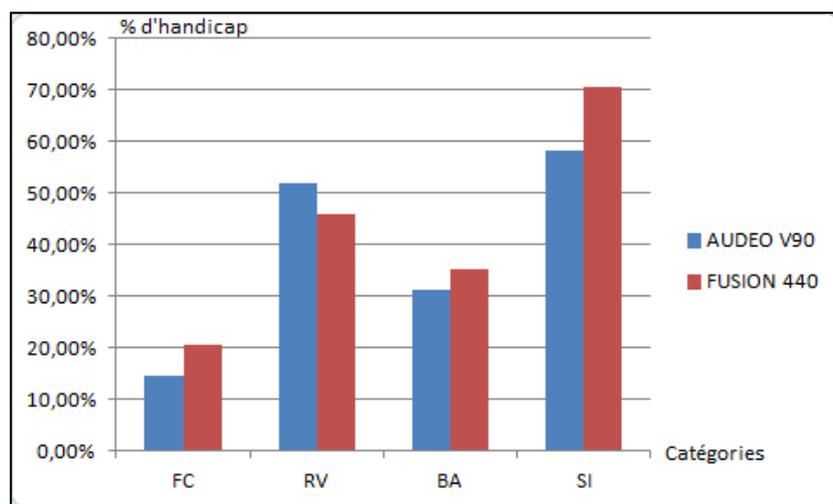
Patient n°9 :



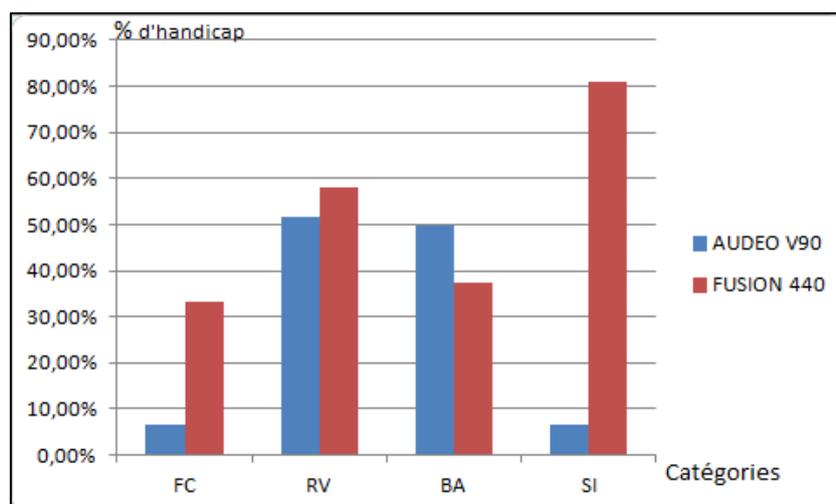
Patient n°10 :



Patient n°11 :



Patient n°12 :



→ 3. Résultats des 4 questions supplémentaires :

Patient	Confort	Compréhension dans le calme	Compréhension dans le bruit	Système préféré
1	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90
2	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90
3	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90
4	Fusion 440	Fusion 440	Aucun	Fusion 440
5	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90
6	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90
7	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90
8	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90
9	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90
10	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90
11	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90
12	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90	Audéo v90

→ 4. Questionnaire APHAB

APHAB – FORMULAIRE A

Instructions:

Veillez sélectionner les réponses qui correspondent le mieux votre expérience quotidienne. Si vous n'avez pas connu la situation que nous décrivons, essayez d'imaginer comment vous répondriez dans une situation similaire que vous connaissez.

- A Toujours (99%)
- B Presque Toujours (87%)
- C En général (75%)
- D La moitié du temps (50%)
- E Parfois (25%)
- F Rarement (12%)
- G Jamais (1%)

	Non appareillé	Appareillé
1. Quand je suis dans un supermarché plein de monde et que je parle avec la caissière, j'arrive à suivre la conversation.	A B C D E F G	A B C D E F G
2. Quand j'écoute une conférence, beaucoup d'informations sont perdues pour moi.	A B C D E F G	A B C D E F G
3. Des bruits inattendus, tels qu'un détecteur de fumée ou une sonnerie d'alarme, me sont pénibles.	A B C D E F G	A B C D E F G
4. J'ai de la peine à suivre une conversation quand je suis chez moi, avec quelqu'un de ma famille.	A B C D E F G	A B C D E F G
5. J'ai de la peine à comprendre les dialogues au cinéma ou au théâtre.	A B C D E F G	A B C D E F G
6. Quand j'écoute les informations en voiture et que des membres de ma famille sont en train de parler, j'ai de la peine à entendre les nouvelles.	A B C D E F G	A B C D E F G
7. Quand je dine avec plusieurs personnes et que j'essaie d'avoir une conversation avec l'une d'entre elles, j'ai de la peine à comprendre ce qu'elle dit.	A B C D E F G	A B C D E F G
8. Les bruits de la circulation sont trop forts.	A B C D E F G	A B C D E F G
9. Quand je parle avec quelqu'un à travers une grande pièce vide, je comprends ses paroles.	A B C D E F G	A B C D E F G
10. Quand je suis dans un petit bureau, en train de poser ou de me faire poser des questions, j'ai de la peine à suivre la conversation.	A B C D E F G	A B C D E F G
11. Quand je suis dans une salle de cinéma ou de théâtre et que les gens murmurent et froissent du papier autour de moi, j'arrive quand même à comprendre le dialogue.	A B C D E F G	A B C D E F G
12. Quand j'ai une conversation avec un ami et que nous parlons doucement, j'ai de la peine à comprendre.	A B C D E F G	A B C D E F G

A	Toujours (99%)
B	Presque Toujours (87%)
C	En général (75%)
D	La moitié du temps (50%)
E	Parfois (25%)
F	Rarement (12%)
G	Jamais (1%)

		Non appareillé	Appareillé
13.	Les bruits d'eau courante, chasse d'eau ou douche par exemple, sont trop forts et me sont pénibles.	A B C D E F G	A B C D E F G
14.	Quand un orateur parle à un petit groupe et que tout le monde écoute calmement, je dois faire un effort pour comprendre.	A B C D E F G	A B C D E F G
15.	Lors d'une conversation tranquille avec mon médecin, dans son cabinet de consultation, il m'est difficile de suivre la conversation.	A B C D E F G	A B C D E F G
16.	Je comprends les conversations même quand plusieurs personnes sont en train de parler.	A B C D E F G	A B C D E F G
17.	Les bruits de chantier sont trop forts et me sont pénibles.	A B C D E F G	A B C D E F G
18.	J'ai de la peine à comprendre ce qui se dit lors de conférences ou de services religieux.	A B C D E F G	A B C D E F G
19.	J'arrive à communiquer avec les autres dans une foule.	A B C D E F G	A B C D E F G
20.	Le bruit de la sirène d'un camion de pompiers à proximité est si fort que je dois me boucher les oreilles.	A B C D E F G	A B C D E F G
21.	Je peux suivre le sermon, lors d'un service religieux.	A B C D E F G	A B C D E F G
22.	Les crissements de pneus sont trop forts et me sont pénibles.	A B C D E F G	A B C D E F G
23.	Dans des conversations en tête à tête, dans une pièce calme, je dois demander aux gens de répéter.	A B C D E F G	A B C D E F G
24.	J'ai du mal à comprendre les autres quand un système d'air conditionné ou un ventilateur est en marche.	A B C D E F G	A B C D E F G

Résumé

Les pertes auditives en «pente de ski » sont de plus en plus fréquentes de nos jours. Cependant, pour les audioprothésistes, elles restent toujours aussi compliquées à appareiller malgré l'évolution constante des aides auditives. La compression fréquentielle et la transposition fréquentielle sont les 2 principaux systèmes utilisés. Auparavant, aucune étude n'a réellement comparé l'apport des 2 techniques l'une par rapport à l'autre. Dans cette étude, il a donc été décidé d'examiner les différences entre les 2 moyens d'abaissement fréquentiel au niveau de l'intelligibilité de la parole dans le calme. Les appareils AUDEO V90 de chez PHONAK et FUSION DREAM 440 de chez WIDEX ont été utilisés.

L'étude a été réalisée sur un panel de 12 patients, tous atteints d'une presbycusie avancée sur une période de 2 mois. Chaque patient a essayé un mois chaque appareil. Leur compréhension dans le calme a été ensuite testée et leur ressenti a été recueilli grâce au questionnaire APHAB.

Les résultats n'ont montré aucune différence significative au niveau de la compréhension de la parole en milieu calme pour une même fréquence de coupure. Par contre, pour la partie subjective de l'étude grâce au questionnaire, les appareils PHONAK se démarquent de façon importante au niveau du confort général d'écoute par rapport aux appareils WIDEX, dont la principale critique était qu'ils « chuintaient » de façon trop importante.

L'étude contient quelques limites qui pourraient être évitées en la réitérant avec un plus grand nombre de patients et sur une durée plus importante. Mais elle ouvre aussi les portes d'autres études possibles en analysant des points différents.