

Université Claude Bernard  Lyon 1

**INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA READAPTATION**

---

**Directeur Professeur Jacques LUAUTE**

---

Méthode de stéréo équilibrage pour le réglage des audioprothèses : Évaluation de l'effet sur l'équilibre

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

**DIPLOME D'ETAT D'AUDIOPROTHESISTE**

par

NEDJMA Maïssane

Autorisation de reproduction

LYON, le

**20 octobre 2023**

**David COLIN**  
Responsable de l'Enseignement

N° 997



Président  
**Pr Frédéric FLEURY**

Vice-président CFVU  
**M. CHEVALIER Philippe**

Vice-président CA  
**M. REVEL Didier**

Vice-président CS  
**M. VALLEE Fabrice**

Directeur Général des Services  
**M. ROLLAND Pierre**

### **Secteur Santé**

U.F.R de Médecine Lyon Est  
Directeur  
**Pr. RODE Gilles**

U.F.R de Médecine Lyon-Sud  
Charles Mérieux  
Directrice  
**Pr. BURILLON Carole**

Département de formation et  
Centre de Recherche en Biologie  
Humaine  
Directeur  
**Pr. SCHOTT Anne-Marie**

Comité de Coordination des  
Etudes Médicales (CCEM)  
**Pr. COCHAT Pierre**

U.F.R d'Odontologie  
Directeur  
**Pr. SEUX Dominique**

Institut des Sciences Pharmaceutiques  
et Biologiques  
Directrice  
**Pr. VINCIGUERRA Christine**

Institut des Sciences et Techniques de  
Réadaptation  
Directeur  
**Pr. LUAUTE Jacques**



Université Claude Bernard  Lyon 1

**Secteur Sciences et Technologies**

U.F.R Des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (S.T.A.P.S)

Directeur

**M. VANPOULLE Yannick**

Institut des sciences Financières et d'Assurance (I.S.F.A)

Directeur

**M. LEBOISNE Nicolas**

Institut National Supérieur du Professorat et de l'éducation (INSPé)

Directeur

**M. CHAREYRON Pierre**

UFR de Sciences et Technologies

Directeur

**M. ANDRIOLETTI Bruno**

POLYTECH LYON

Directeur

**PR. PERRIN Emmanuel**

IUT LYON 1

Directeur

**M. VITON Christophe**

Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique de Lyon (ESCPE)

**M. PIGNAULT Gérard**

Observatoire astronomique de Lyon

Directeur

**Mme DANIEL Isabelle**

# REMERCIEMENTS

Je souhaite tout d'abord adresser mes remerciements à Stéphane GALLEGO et Annie MOULIN pour leur proposition de sujet ainsi que leur accompagnement et soutien dans la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier également ma maître de stage de troisième année, Marie PASKO pour ses conseils, sa bienveillance, sa disponibilité et de m'avoir partagé son riche savoir et son expérience dans le domaine de l'audioprothèse.

J'aimerais aussi remercier Maxime DEFLANDRE, l'assistant du centre, pour sa gentillesse.

J'adresse également mes remerciements à Marine DORRE et Lisa MALCOIFFE, étudiantes de ma promotion, grâce à qui nous avons pu établir et mettre en œuvre le protocole de ce mémoire.

Je souhaite remercier tout particulièrement les patients qui ont participé à cette étude pour le temps qu'ils m'ont consacré et sans qui ce mémoire n'aurait pu aboutir.

Un grand merci à tous mes proches, famille et amis, pour leur soutien tout au long de mon cursus.

Je terminerai par remercier toute l'équipe pédagogique du département d'audioprothèse de l'Université Lyon 1, pour la qualité des enseignements proposés.

# TABLE DES MATIERES

<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>3</b>
<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>6</b>
<b>RÉSUMÉ .....</b>	<b>7</b>
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS .....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>10</b>
<b>PARTIE THÉORIQUE : .....</b>	<b>13</b>
<b>I. Équilibre et posture .....</b>	<b>13</b>
<b>II. La proprioception et les capteurs sensoriels .....</b>	<b>15</b>
<b>III. L'audition.....</b>	<b>17</b>
1. Rappels.....	17
2. L'audition binaurale .....	19
<b>IV. Les mécanismes binauraux.....</b>	<b>20</b>
1. La localisation dans le plan horizontal .....	20
a. La différence interaurale de temps (ITD) et la différence interaurale de phase (IPD) .....	20
b. La différence interaurale d'intensité (ILD).....	21
c. Le cône de confusion.....	23
2. La localisation dans le plan vertical.....	23
3. Avantages de l'audition binaurale.....	24
a. Sommation binaurale .....	24
b. Effet d'ombre de la tête .....	25
c. Effet Squelch ou démasquage binaural.....	25
<b>V. Perte auditive, équilibre et appareillage .....</b>	<b>26</b>
<b>VI. Le stéréo équilibrage pour le réglage des aides auditives .....</b>	<b>28</b>
1. Le seuil liminaire .....	28
2. Most Comfortable Level (MCL) .....	29
3. La dynamique auditive résiduelle .....	29
<b>VII. Les questionnaires, un outil pour quantifier le ressenti du patient .....</b>	<b>31</b>
1. Le questionnaire ABC équilibre .....	31
2. Le questionnaire SSQ15 .....	32
3. Le questionnaire DHI.....	33
<b>PARTIE EXPÉRIMENTALE.....</b>	<b>34</b>
<b>I) Matériel et méthode.....</b>	<b>34</b>
1. Population étudiée.....	34
2. Le matériel utilisé.....	36
3. Dispositif expérimental .....	36
<b>II) L'analyse des résultats .....</b>	<b>42</b>
1. Le questionnaire ABC équilibre .....	42
2. Le questionnaire SSQ15 .....	44
a. Item audition de la parole .....	44
b. Item audition spatiale.....	46
c. Item qualité de l'audition .....	48
d. Score total au questionnaire SSQ15 .....	49
3. Le questionnaire DHI.....	51

a.	Item émotionnel.....	51
b.	Item fonctionnel.....	53
c.	Item physique.....	55
d.	Score total au questionnaire DHI .....	57
<b>DISCUSSION .....</b>		<b>59</b>
<b>I)</b>	<b>Discussion des résultats .....</b>	<b>59</b>
1.	Les résultats inchangés au questionnaire ABC équilibre.....	59
2.	L'amélioration des résultats au questionnaire SSQ15 .....	59
3.	Les résultats au questionnaire DHI .....	60
<b>II)</b>	<b>Limite des tests effectués.....</b>	<b>61</b>
1.	L'effet d'apprentissage.....	61
2.	Le facteur temps .....	61
3.	La différence de taille d'échantillons .....	62
4.	Difficultés rencontrées.....	62
5.	La méthode de stéréo équilibrage .....	63
<b>CONCLUSION.....</b>		<b>64</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>		<b>65</b>
<b>ANNEXES.....</b>		<b>68</b>

# GLOSSAIRE

ACA = Appareil de Correction Auditive.

dB = Décibel.

Delta = Différence.

DHI = « Dizziness Handicap Inventory », Questionnaire sur le handicap lié aux vertiges et aux troubles de l'équilibre.

HL = Hearing Level.

Hz = Hertz.

ILD = « Interaural Level Difference », différence interaurale d'intensité.

IPD = « Interaural Phase Difference », différence interaurale de phase.

ITD = « Interaural Time Difference », différence interaurale de temps.

MCL = « Most Comfortable Level », seuil maximum de confort.

MPO = « Maximum Power Output », niveau maximum de sortie d'un appareil auditif.

OD = Oreille Droite.

OG = Oreille Gauche.

OMS = Organisation Mondiale de la Santé.

RDV = Rendez-vous.

Rho = Coefficient de corrélation.

RSB = Rapport Signal sur Bruit.

SPL = "Sound Pressure Level", niveau de pression acoustique.

SSQ15: Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale, version abrégée du SSQ.

\*= p-value < 0,05

\*\*= p-value < 0,01

\*\*\*= p-value < 0,001

$\mu$  = Moyenne

# RÉSUMÉ

OBJECTIFS : La proportion des plus de 60 ans devrait doubler d'ici 2050 selon l'OMS. Or, ils constituent les personnes les plus exposées à un risque de chutes pouvant avoir de graves conséquences physiques ou psychologiques. Des études ont montré un lien entre appareillage et amélioration de l'équilibre. Le but de ce mémoire est d'évaluer les conséquences sur l'équilibre d'une méthode de stéréo-équilibrage en supraliminaires.

MATÉRIEL ET MÉTHODE : 37 sujets ont été testés à l'occasion de trois rendez-vous par personne. Deux groupes ont été conçus aléatoirement : le premier pour lequel les modifications de réglages ont été effectuées au deuxième rendez-vous et le deuxième groupe pour lequel l'ajustement des réglages était réalisé au premier rendez-vous. Un stéréo-équilibrage à 55 dB HL et à 85 dB HL a été réalisé pour chaque patient. Ces derniers devaient remplir trois questionnaires : ABC équilibre, SSQ15 et DHI afin d'évaluer leur équilibre à chaque rendez-vous.

RÉSULTATS : Nous n'avons pas remarqué d'amélioration significative des scores à l'ABC équilibre après nos réglages. En outre, nous avons constaté des scores significativement meilleurs concernant l'audition de la parole et l'audition spatiale au questionnaire SSQ15, ce qui montre que les patients disposent d'une meilleure capacité de localisation. Cependant, les scores au DHI révèlent des disparités et sont peu significatifs.

CONCLUSION : Nous avons pu valider l'hypothèse selon laquelle le stéréo-équilibrage induirait un meilleur équilibre. De plus, cette étude a permis de montrer qu'il serait intéressant d'intégrer les questionnaires dans le processus d'appareillage.

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## FIGURES

Figure 1 : Le polygone de sustentation. (Aurélien Broussal Derval, 2023). .....	14
Figure 2 : Le système auditif. (Index Santé, 2023). .....	18
Figure 3 : L'écart interaural de temps (CNEBM, 2011) .....	20
Figure 4 : L'effet d'ombre de la tête (The Open Learn University, 2022). .....	22
Figure 5 : Le cône de confusion (Hearing Health and Technology Matters, 2015). ....	23
Figure 6 : L'effet Squelch ou démasquage binaural (Hearing Health and Technology Matters, 2015). .....	25
Figure 7 : La dynamique auditive résiduelle. À gauche, celle d'un normo-entendant et à droite, celle d'un sujet avec une surdité de perception. (Gallego S., 2020). .....	30
Figure 8 : Diagramme circulaire de la répartition des patients selon leur sexe.....	34
Figure 9 : Configuration des HP pour les tests dichotique et dichotique inversé. (Gallego S., 2020). .....	39
Figure 10 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'ABC équilibre pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	42
Figure 11 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'ABC équilibre pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	43
Figure 12 : Histogramme de l'évolution du score moyen au SSQ15 à l'item audition de la parole pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	44
Figure 13 : Histogramme de l'évolution du score moyen au SSQ15 à l'item audition de la parole pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	45
Figure 14 : Histogramme de l'évolution du score moyen au SSQ15 à l'item audition spatiale pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre). .....	46
Figure 15 : Histogramme de l'évolution du score moyen au SSQ15 à l'item audition spatiale pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre). .....	47
Figure 16 : Histogramme de l'évolution du score moyen au SSQ15 à l'item qualité de l'audition pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	48

Figure 17 : Histogramme de l'évolution du score moyen au SSQ15 à l'item qualité de l'audition pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	48
Figure 18 : Histogramme de l'évolution du score moyen total au SSQ15 pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	49
Figure 19 : Histogramme de l'évolution du score moyen total au SSQ15 pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	50
Figure 20 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'item émotionnel au DHI pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	51
Figure 21 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'item émotionnel au DHI pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	52
Figure 22 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'item fonctionnel au DHI pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	53
Figure 23 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'item fonctionnel au DHI pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	54
Figure 24 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'item physique au DHI pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	55
Figure 25 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'item physique au DHI pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	56
Figure 26 : Histogramme de l'évolution du score moyen total au DHI pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	57
Figure 27 : Histogramme de l'évolution du score moyen total au DHI pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).....	58

## **TABLEAUX**

Tableau 1 : Tableau représentant l'ancienneté des appareils droit et gauche.....	35
Tableau 2 : Tableau récapitulatif de la passation des tests .....	40

# INTRODUCTION

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, « Entre 2015 et 2050, la proportion des 60 ans et plus dans la population mondiale va presque doubler, passant de 12 % à 22 % » (OMS, 2023). Les chutes ayant de graves conséquences et se montrant particulièrement nombreuses chez les personnes âgées, le vieillissement de la population fait croître le nombre de personnes à risque. Selon les chiffres de l'OMS, ce sont 684 000 personnes en moyenne qui « perdent la vie, chaque année, à la suite de chutes » (OMS, 2021). Il s'agit ainsi de la deuxième cause de décès accidentels ou de décès par traumatismes involontaires dans le monde. L'âge est considéré comme un facteur de risque et ce sont les personnes de plus de 60 ans qui font le plus de chutes mortelles. Elles peuvent gravement affecter la qualité de vie, la santé et l'autonomie des personnes touchées, ce qui peut également avoir des conséquences psychologiques.

Selon Santé Publique France, environ une personne sur trois, âgée de plus de 65 ans, chute chaque année dans notre pays et plus de 9300 personnes perdent la vie. (Santé Publique France, 2020).

Les chutes sont considérées comme un important enjeu de santé publique mondial et de nombreuses actions sont déployées afin de les prévenir et les minimiser. Des programmes de prévention des chutes ainsi que des interventions pour améliorer la sécurité de l'environnement ont été instaurés. De plus, des traitements pour les personnes souffrant de troubles sensoriels ou vestibulaires sont mis en place. Des études ont montré qu'il existe un lien entre la perte auditive et le risque de chute. (Viljanen, et al., 2009, Lin et al., 2012).

Le système vestibulaire est responsable de la perception de l'équilibre et de la stabilisation de la tête et du corps pendant les mouvements. La perte auditive peut également affecter la capacité d'une personne à se repérer dans l'espace en utilisant les informations sonores environnantes.

Il a été démontré que les aides auditives peuvent contribuer à maintenir l'équilibre et à prévenir les chutes chez les personnes atteintes de perte auditive (*Rumalla, Karim, & Hular, 2014*). On se demande donc s'il serait intéressant d'intégrer l'appareillage auditif dans le parcours de soins liés à la prise en charge des personnes ayant des troubles de l'équilibre.

Cependant, les méthodes de réglages actuelles n'incluent pas de procédure pour l'équilibrage gauche/droite de la sonie. Les gains sont calculés séparément pour chaque oreille. Toutefois, un bon équilibre interaural peut être un facteur crucial pour les performances et le confort du patient. Les mesures en champ libre sont souvent réalisées oreilles séparées, or, les aides auditives communiquent entre elles et appliquent leurs algorithmes avec un traitement binaural de l'information. De plus, le système auditif fonctionne également de manière binaurale.

L'utilisation des seuils liminaires ne permet pas d'évaluer comment le patient perçoit les sons moyens et forts. Pour un réglage plus proche de l'environnement sonore du patient, il serait donc préférable de réaliser des tests supraliminaires en binaural, tels que la mesure des seuils maximaux de confort et la réalisation d'un stéréo-équilibrage en champ libre avec les deux aides auditives.

Le stéréo-équilibrage est une méthode de réglage des aides auditives visant à fournir une qualité sonore équilibrée et naturelle à chaque oreille.

La mesure et le stéréo-équilibre des seuils à 55 dB HL et MCL autour de 85 dB HL en champ libre appareillé en binaural pourrait améliorer le confort du patient.

Le fait d'équilibrer la sonie entre les deux oreilles pourrait avoir un impact positif sur l'équilibre postural.

L'objectif de cette étude est d'évaluer les conséquences sur l'équilibre, d'une méthode de stéréo-équilibrage en supraliminaire.

Dans un premier temps, dans la partie théorique, nous ferons un rappel sur le système vestibulaire et le système auditif, puis nous verrons plus en détail les mécanismes impliqués dans l'audition binaurale. Ensuite, nous ferons la synthèse des études qui traitent de l'audition et l'équilibre ainsi que de l'effet de l'appareillage sur celui-ci, puis nous ferons un point sur la méthode de stéréo-équilibrage et nous terminerons par l'exploration des questionnaires utilisés.

Ensuite, nous étudierons le protocole mis en place dans ce mémoire pour répondre à notre problématique.

Nous pourrons alors analyser les résultats obtenus et discuter sur ceux-ci.

Enfin, nous pourrons essayer de conclure sur l'effet de notre méthode de stéréo-équilibrage sur l'équilibre et l'inclusion des questionnaires dans le processus d'appareillage.

# PARTIE THÉORIQUE :

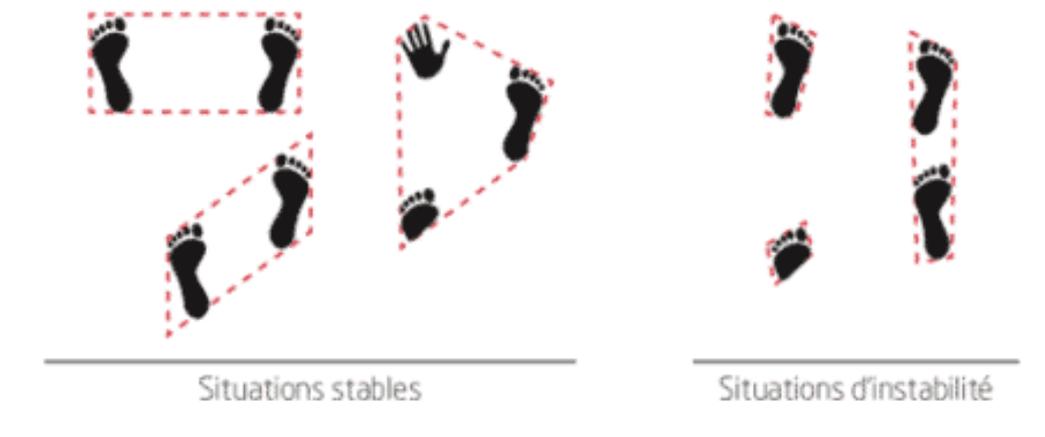
## I. Équilibre et posture

L'équilibre, c'est la notion physique qui correspond à la résultante de l'application sur un corps de plusieurs forces. Quand elle est nulle, le corps est dit en équilibre. C'est une fonction sensori-motrice qui assure de manière permanente la stabilité dynamique de la posture.

Maintenir son équilibre nécessite la capacité à traiter en temps réel des informations provenant du sujet lui-même et de l'environnement afin d'ajuster sans cesse la position et les mouvements des segments corporels. Pour y parvenir, il est nécessaire de tenir compte de différentes contraintes tant internes (masse du sujet et sa géométrie) qu'externes (la gravité, des perturbations éventuelles ou la stabilité des appuis). La situation créée par la pesanteur engendre la mise en place d'un système de régulation anti-gravitaire agissant sur un complexe musculosquelettique et visant à maintenir la projection du centre de gravité du sujet à l'intérieur de son polygone de sustentation. (*Veuillet, 2020*). La pesanteur contribue elle-même à l'exercice de cette fonction et de nombreux dispositifs lui sont sensibles. Le polygone de sustentation se définit comme « la surface contenant tous les points de contacts entre le corps et le support » (*Greco, 2020*).

L'équilibration, c'est la fonction associée au maintien de l'équilibre en toutes circonstances dynamiques ou statiques. Selon *Jacquemard et Costille (2008)*, elle se définit comme « l'ensemble des réactions mises en jeu par le système nerveux central pour garder une projection du centre de gravité dans le polygone de sustentation ».

Lorsque la projection orthogonale du centre de gravité du corps sur le sol sort du polygone de sustentation, cela conduit à un déséquilibre.



*Figure 1 : Le polygone de sustentation. (Aurélien Broussal Derval, 2023).*

La posture est définie comme la disposition des différents segments du corps et leur orientation dans l'espace à un instant donné. Une bonne posture répartit efficacement le poids réduisant ainsi les tensions inutiles sur les muscles et les articulations. Quand les orientations des segments corporels sont combinées de manière stable, on parle d'équilibre postural.

## II. La proprioception et les capteurs sensoriels

Le sens de l'équilibre est géré par plusieurs capteurs différents dans le corps, notamment les organes vestibulaires (labyrinthe et utricule/saccule), les yeux et les récepteurs proprioceptifs dans les muscles et les tendons. Les informations recueillies par ces capteurs sont ensuite traitées et coordonnées par le système nerveux central pour maintenir l'équilibre.

La proprioception se définit comme la perception de soi-même grâce à des récepteurs sensoriels présents dans nos muscles, ligaments, tendons et aussi dans notre peau.

Nous avons ainsi la capacité de connaître à tout instant notre position dans l'espace ainsi que de nous sentir à l'intérieur de notre corps. Cette capacité se construit grâce au dialogue incessant entre le système nerveux central et périphérique.

Les capteurs sensoriels impliqués dans le sens de l'équilibre sont de trois types :

- Les récepteurs labyrinthiques ou vestibulaires : situés dans le labyrinthe osseux de l'os temporal en position latérale postérieure par rapport à la cochlée. Le labyrinthe antérieur est dédié à l'audition avec la cochlée tandis que le labyrinthe postérieur concerne l'équilibration grâce au vestibule. Dans le labyrinthe osseux se trouve le labyrinthe membraneux qui regroupe 5 organes sensoriels dans sa partie postérieure :
  - Deux capteurs « maculaires » sensibles aux accélérations linéaires et à la gravité et situés dans les macules du saccule et de l'utricule.
  - Trois capteurs « ampullaires » sensibles aux accélérations angulaires, rotatoires situés dans les ampoules des canaux semi-circulaires.

Chacun de ces 5 capteurs vestibulaires présente une sensibilité maximale dans une direction spécifique de l'espace.

- Les récepteurs visuels : ils constituent un élément d'orientation et de déplacement dans l'espace et permettent une connaissance anticipée de l'environnement. On distingue deux types de vision :
  - La vision centrale qui permet d'apprécier la distance, la fixation d'un repère, la reconnaissance et l'identification des objets.
  - La vision périphérique qui permet de détecter l'intrusion d'un obstacle étranger dans le champ visuel.
- Les récepteurs somesthésiques : ils renseignent sur la position et les mouvements des différents segments corporels les uns par rapport aux autres. (*Veuillet, 2020*). Ils se divisent en deux catégories :
  - Les extérocepteurs : localisés au niveau cutané. Ils sont sensibles à la vitesse, aux vibrations et à la pression.
  - Les propriocepteurs qui se répartissent eux-mêmes en 3 groupes :
    - Les récepteurs musculaires sensibles à l'étirement du muscle.
    - Les récepteurs tendineux : sensible à l'étirement du tendon.
    - Les récepteurs ostéoarticulaires : sensibles aux mouvements des articulations.

### III. L'audition

#### 1. Rappels

L'oreille est divisée en 3 parties : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne.

L'oreille externe est composée du pavillon, du conduit auditif externe et du tympan. Le pavillon permet de capter et recueillir les ondes sonores qui sont ensuite acheminées jusqu'au tympan en passant par le conduit auditif externe.

Les vibrations vont parvenir jusqu'à l'oreille moyenne, séparée de l'oreille externe par le tympan, et mettre en branle les trois osselets. Le son est recueilli par les éléments de l'oreille externe (pavillon et conduit auditif externe) et fait vibrer la membrane tympanique. La chaîne des osselets vibre de concert avec la membrane tympanique, car le manche du marteau est inséré dans la pars tensa. L'étrier établit le lien avec l'oreille interne et joue un rôle de piston dans la fenêtre ovale afin de pousser et tirer le liquide contenu dans la rampe vestibulaire. Ceci va engendrer une « précipitation » de la périlymphe.

Une onde de pression se propage à l'intérieur de la périlymphe de la rampe vestibulaire. Tout mouvement de la fenêtre ovale produit un mouvement associé de la fenêtre ronde. L'onde de pression périlymphatique va provoquer une déformation de la membrane de Reissner et donc la création d'une onde de pression endolymphatique qui se produit à l'intérieur du canal cochléaire. Celle-ci va provoquer un déplacement de la membrane basilaire.

La vibration de la membrane basilaire sur laquelle repose l'organe de Corti va provoquer un déplacement de l'ensemble de l'organe de Corti qui va se placer contre la membrane tectoriale et donc une inflexion des stéréocils des cellules ciliées. Ceci crée une réponse électrique des cellules ciliées appelée potentiel récepteur qui provoque à son tour l'émission de potentiels d'action en direction des centres auditifs du système nerveux central. Les ondes de pression vont être évacuées par des mouvements complémentaires de la fenêtré ronde et l'énergie de ces ondes va être dissipée dans l'air de la cavité tympanique. Les neurones localisés dans le ganglion spiral vont pouvoir transmettre l'information nerveuse au noyau cochléaire de l'oreille stimulée. Chaque oreille possède un noyau cochléaire qui lui est propre afin d'analyser les flux nerveux. Les noyaux cochléaires droits et gauches poursuivent ainsi l'acheminement du signal nerveux jusqu'au complexe olivaire supérieur. La comparaison des indices binauraux est enfin transmise au corps genouillé médian et au cortex auditif.

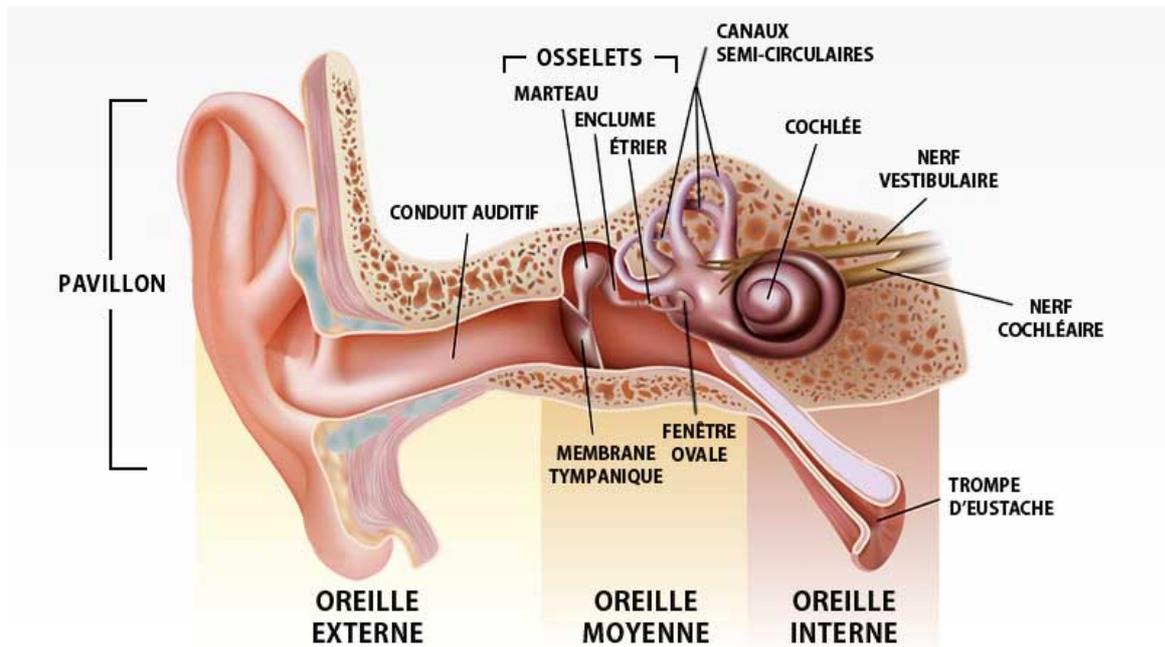


Figure 2 : Le système auditif. (Index Santé, 2023).

## 2. L'audition binaurale

L'audition binaurale est le processus d'écoute utilisant les deux oreilles. Notre corps est symétrique et permet d'arriver à repérer des messages dans un espace en 3D. La stéréophonie nous permet d'appréhender le message sonore de l'environnement, mais aussi nos mouvements dans l'espace. Elle permet de localiser la source sonore dans l'espace, sa direction, son azimut, sa hauteur, sa distance et améliorer la compréhension des sons dans un environnement bruyant en se focalisant sur le signal de parole parmi plusieurs signaux sonores. Elle est le résultat de la combinaison d'informations sonores provenant des deux oreilles, qui sont ensuite traitées par le cerveau.

En effet, le système auditif est constitué de réseaux neuronaux qui se croisent et permettent de comparer les informations provenant des deux cochlées.

## IV. Les mécanismes binauraux

### 1. La localisation dans le plan horizontal

#### a. La différence interaurale de temps (ITD) et la différence interaurale de phase (IPD)

La différence interaurale de temps correspond à la différence de temps d'arrivée de l'onde sonore aux deux oreilles en fonction de la distance. En effet, les sons provenant d'une source située à gauche de l'individu arrivent à l'oreille gauche avec une amplitude et un décalage temporel différents de ceux qui arrivent à l'oreille droite. Ce délai de propagation est lié à la célérité (340 m/s) et à la distance de l'oreille et la source sonore. Dans le cas où la source sonore est centrée face au sujet, pour un azimut de  $0^\circ$  et  $180^\circ$ , la différence interaurale de temps vaudra zéro et le temps d'arrivée sera identique pour les deux oreilles.

La différence interaurale de phase correspond à la différence de phase du signal sonore à son arrivée aux deux oreilles. Elle est utilisée généralement pour la localisation des sons de basses fréquences.

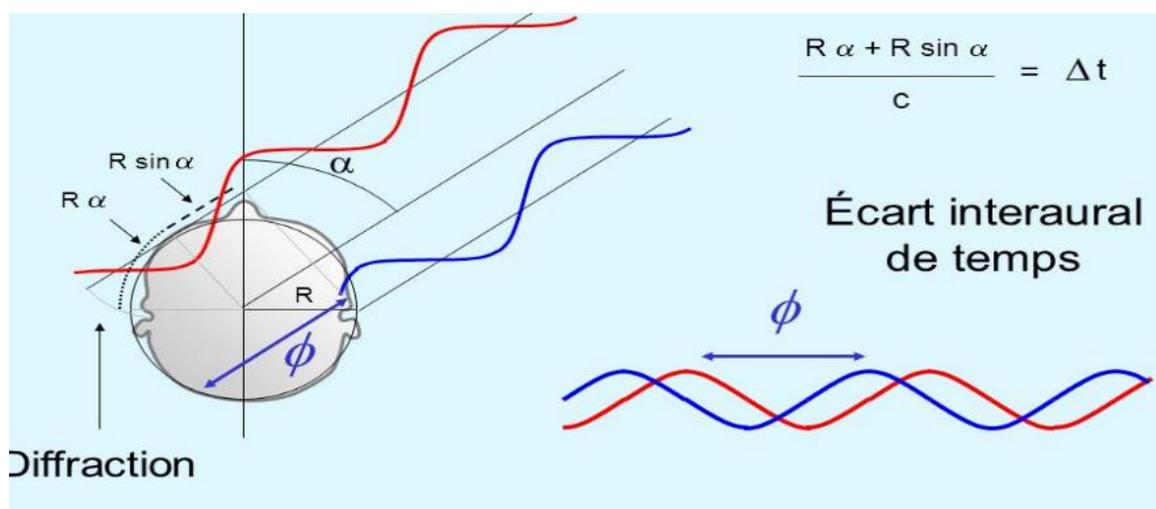


Figure 3 : L'écart interaural de temps (CNEBM, 2011)

## b. La différence interaurale d'intensité (ILD)

La différence interaurale d'intensité correspond à la différence de niveau de pression sonore entre les deux oreilles. En effet, celle-ci est liée à l'effet d'ombre de la tête qui va jouer le rôle d'obstacle physique à l'onde sonore pour l'oreille la plus éloignée de la source. Le niveau sonore mesuré dans l'oreille ipsilatérale au signal est plus grand que le niveau sonore de l'oreille contralatérale. Cette différence interaurale d'intensité est fonction également de la fréquence du son. En effet, si la longueur d'onde est supérieure à la taille de la tête, c'est-à-dire pour les basses fréquences, alors le son est moins atténué et les ILD sont faibles, l'effet d'ombre de la tête est presque nul. Néanmoins, pour les fréquences supérieures à 2000 Hz, l'effet d'ombre de la tête peut atteindre plusieurs dizaines de dB.

Pour les hautes fréquences, on a un phénomène d'atténuation jusqu'à environ 35 dB pour un azimut de  $\pm 90^\circ$  pour la taille moyenne d'une tête humaine (*Middlebrooks et al., 1989*). Enfin, l'ILD est liée à l'azimut de la source sonore. En effet, si la source sonore est centrée face à l'auditeur, elle se trouve donc à équidistance des deux oreilles et l'ILD est donc nulle.

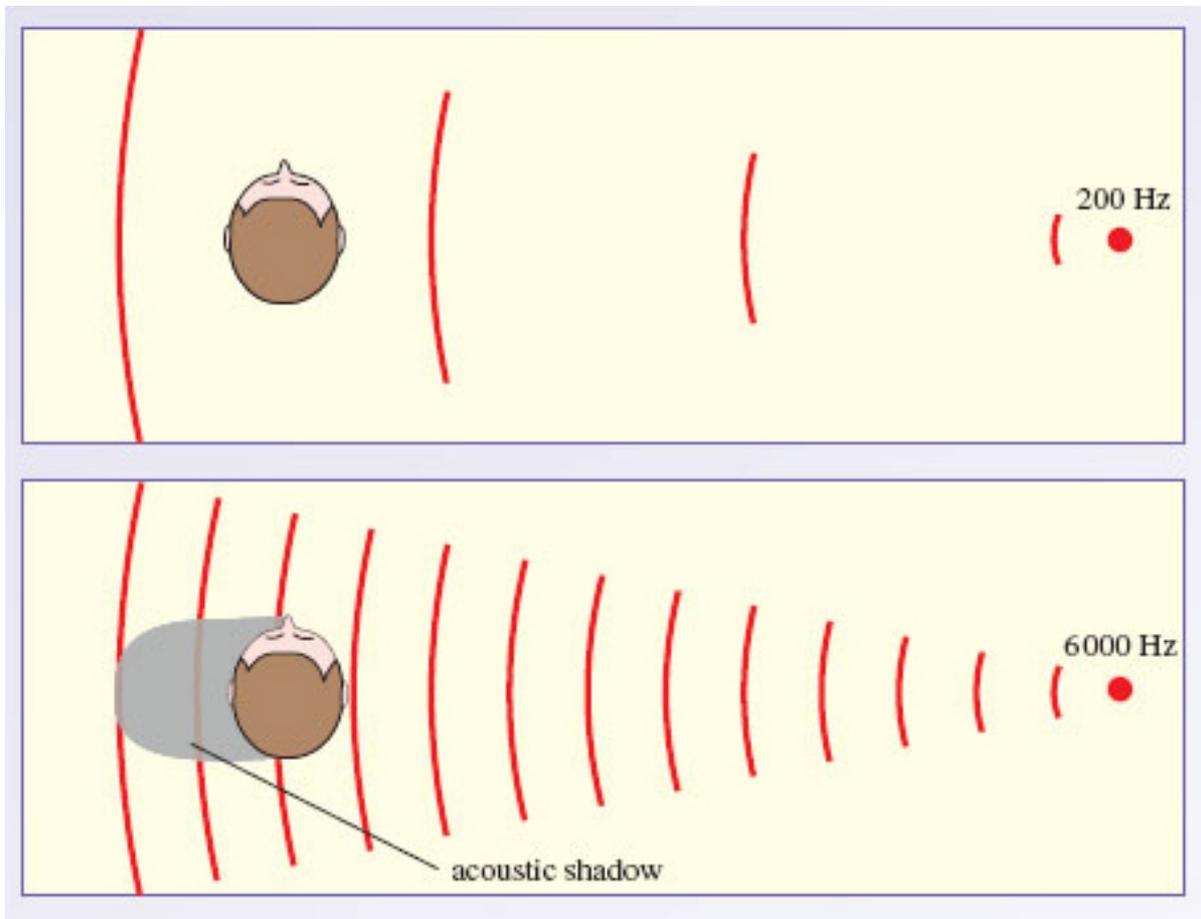
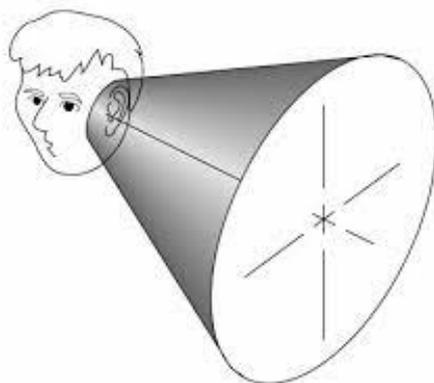


Figure 4 : L'effet d'ombre de la tête (The Open Learn University, 2022).

### c. Le cône de confusion

En associant ces différents indices, il est possible de localiser précisément une source sonore dans un plan horizontal. Cependant, il existe une zone où la localisation n'est pas précise.

En effet, elle correspond à l'ensemble des points de l'espace qui renseignent les mêmes données : ITD, ILD, IPD. Ce cône regroupe l'ensemble des points se trouvant à équidistance des deux oreilles.



*Figure 5 : Le cône de confusion (Hearing Health and Technology Matters, 2015).*

## 2. La localisation dans le plan vertical

La localisation dans le plan vertical est permise grâce aux informations spectrales contenues dans le signal et arrivant à chaque oreille. Des structures telles que le pavillon, le buste ou les épaules vont induire la réflexion des ondes incidentes qui vont interférer avec les ondes entrant dans le conduit auditif externe. Ces interférences vont engendrer des renforcements et dégradations de zones fréquentielles permettant ainsi de localiser la source sonore. (Cochlea, 2019).

### 3. Avantages de l'audition binaurale

En résumé, d'après l'étude de A. Chays (2008), l'audition binaurale apporte de nombreux avantages comme :

- Une meilleure discrimination des signaux qu'avec une seule oreille.
- Une meilleure détection des signaux dans le bruit par comparaison de stimuli arrivant aux deux oreilles.
- La localisation des sources sonores grâce aux différences d'amplitude ou d'instant d'arrivée des sons aux deux oreilles.
- Une meilleure compréhension de la parole en milieu bruyant en se basant sur l'oreille qui reçoit le RSB le plus important.

#### a. Sommation binaurale

La sommation binaurale correspond à l'amélioration de la sonie obtenue grâce à la stimulation simultanée des deux oreilles par un son, par rapport à la stimulation d'une seule des oreilles. (*Fletcher et Munson, 1933, Marks, 1978*). Le cerveau amplifie l'information sonore, on a donc une sensation d'augmentation d'intensité sonore 3dB par rapport à une oreille seule. Au niveau du cerveau, l'énergie reçue par chaque oreille va s'additionner et par un phénomène de sommation va induire une augmentation de la sensation sonore.

## b. Effet d'ombre de la tête

La présence de la tête du sujet bloque le son provenant d'une source sonore et induit une différence de rapport signal sur bruit entre les deux oreilles.

Il apparaît ainsi la différence interaurale d'intensité qui traduit la différence d'intensité de l'onde qui parvient à chaque oreille. (Cochlea, 2019). Le niveau sonore mesuré dans l'oreille ipsilatérale du signal est plus grand que le niveau sonore de l'oreille controlatérale.

## c. Effet Squelch ou démasquage binaural

D'après les études de Hirsh (1948) et Licklider (1948), si une oreille reçoit un signal de parole ainsi que du bruit, ajouter ce même bruit sur l'oreille controlatérale permettrait d'augmenter l'intelligibilité. La comparaison des signaux qui arrivent aux deux oreilles améliore la détection des signaux dans le bruit.

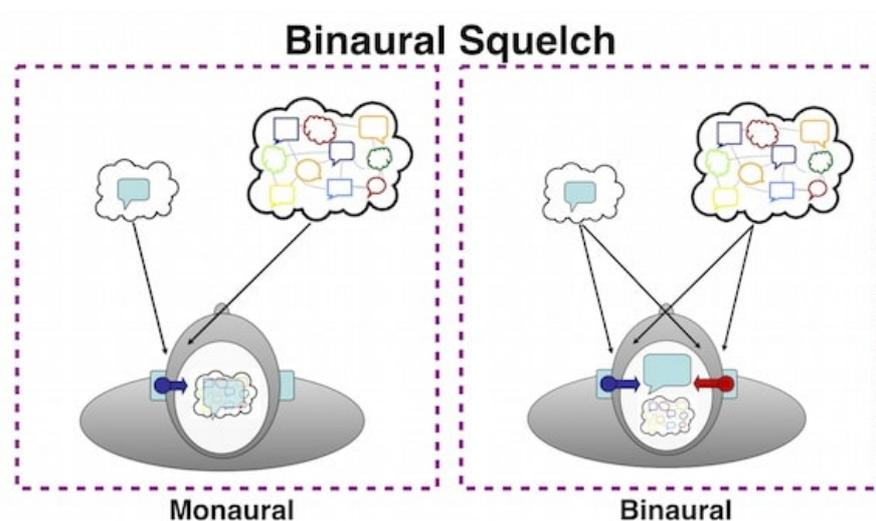


Figure 6 : L'effet Squelch ou démasquage binaural (Hearing Health and Technology Matters, 2015).

## V. Perte auditive, équilibre et appareillage

De nombreuses études ont mis en évidence un lien entre perte auditive et déséquilibre. L'étude finlandaise (*Viljanen, et al., 2009*) montre que les personnes avec une mauvaise acuité auditive ont plus de risque de chutes et donc un contrôle postural plus faible. Les informations auditives sur l'environnement peuvent être importantes pour une mobilité sûre.

De plus, une étude de *Lin et al. (2012)* menée sur 2017 sujets sourds non appareillés de 40 à 69 ans, a mis en évidence une corrélation entre perte auditive et chutes. En effet, elle démontre que pour chaque augmentation de 10 dB de perte auditive, le risque de chutes est multiplié par 1,4 et que pour 25 dB de perte, on a un risque de chutes multiplié par 3.

Le son ambiant et le sens de l'audition peuvent exercer une influence significative en plus de l'apport visuel et de la proprioception pour le contrôle postural statique. (*Kanegaonkar, et al., 2012*).

De plus, chez les personnes âgées, les tâches posturales nécessitant un équilibre des apports sensoriels peuvent entraîner un risque accru de chutes si elles manquent d'attention. (*Teasdale N & Simoneau M., 2001*).

Les indices auditifs sont utilisés par les sujets avec une audition normale pour améliorer l'oscillation posturale. La capacité à utiliser le son pour le contrôle postural est diminuée en cas de perte auditive, mais cela semble être surmonté par l'utilisation d'une aide auditive. Les patients présentant des déficits vestibulaires supplémentaires exploitent plus largement les signaux auditifs. D'autres études ont évalué l'impact de l'appareillage auditif sur l'équilibre.

D'après *Rumalla, Karim, & Hular (2014)*, les aides auditives constituent un traitement novateur pour l'instabilité chez la personne âgée souffrant de perte auditive. Le port d'aides auditives peut offrir un avantage significatif pour la santé publique en évitant les chutes dans cette population.

Les normo-entendants utilisent les informations auditives afin d'améliorer leur équilibre postural. La capacité à utiliser ces informations est diminuée en cas de déficit auditif mais cela peut être compensé par le port d'aides auditives. (*Viktovic et, al., 2016*).

## VI. Le stéréo équilibrage pour le réglage des aides auditives

Le stéréo équilibrage est une méthode de réglage des aides auditives visant à fournir une qualité sonore équilibrée et naturelle à chaque oreille. Des études ont démontré que le stéréo-équilibrage a un impact sur la qualité sonore, la compréhension de la parole ou encore la localisation sonore. En effet, d'après le mémoire de Lyon d'*Éléna Laurent (2022)*, la réalisation d'un stéréo-équilibrage améliore les scores à la vocale en dichotique et dichotique inversé ainsi que la qualité de l'audition chez les patients ayant des MCL bas.

Le mémoire de l'école de Lyon d'*Emma Vidal (2022)* est basé sur un stéréo-équilibrage à 60 dB SPL et à 80-90 dB SPL. Son objectif est de mesurer l'intelligibilité dans le bruit ainsi que l'audition spatiale des patients avec une perte symétrique et asymétrique. Ce mémoire a permis de montrer qu'un stéréo-équilibrage en supraliminaire induit une amélioration de la compréhension dans le bruit de la moins bonne oreille chez les patients avec une surdité asymétrique.

### 1. Le seuil liminaire

C'est le seuil correspondant à l'intensité la plus faible que le patient arrive à percevoir pour chaque fréquence de 250 Hz à 8000 Hz. En pratique, on va essayer d'équilibrer au mieux les seuils des deux oreilles, mais ce n'est pas suffisant. En effet, selon la perte auditive, on ne va pas pouvoir ramener ces seuils au même niveau. Pour les pertes asymétriques, un gain trop important peut vite devenir gênant du côté de l'oreille la plus atteinte.

## 2. Most Comfortable Level (MCL)

Il est défini comme le seuil de confort maximal ou comme le niveau auquel la parole est la plus confortablement audible (Martin, 1994). Dans ce mémoire, il correspond à un son « très fort » par rapport à l'échelle de sonie utilisée.

C'est une valeur très subjective qui correspond à l'intensité maximum avant le seuil d'inconfort et qui permet de régler les MPO. On constate une grande variabilité de cette mesure qui peut être liée au patient, mais aussi à l'audioprothésiste. En effet, cela peut dépendre des consignes données ainsi que la façon de les communiquer, du stimulus utilisé, de la personnalité, de l'interprétation des réponses du patient. (Dodelé. L, 1992).

## 3. La dynamique auditive résiduelle

Les mesures des seuils liminaires et des MCL nous permettent d'obtenir la dynamique auditive du patient. En effet, elle correspond au champ auditif que l'on trouve entre le seuil d'audition et le seuil d'inconfort.

La dynamique auditive varie donc selon les patients et peut même varier d'une oreille à l'autre, dans le cas d'une surdité asymétrique par exemple.

## AUDIOMETRIE TONALE AU CASQUE

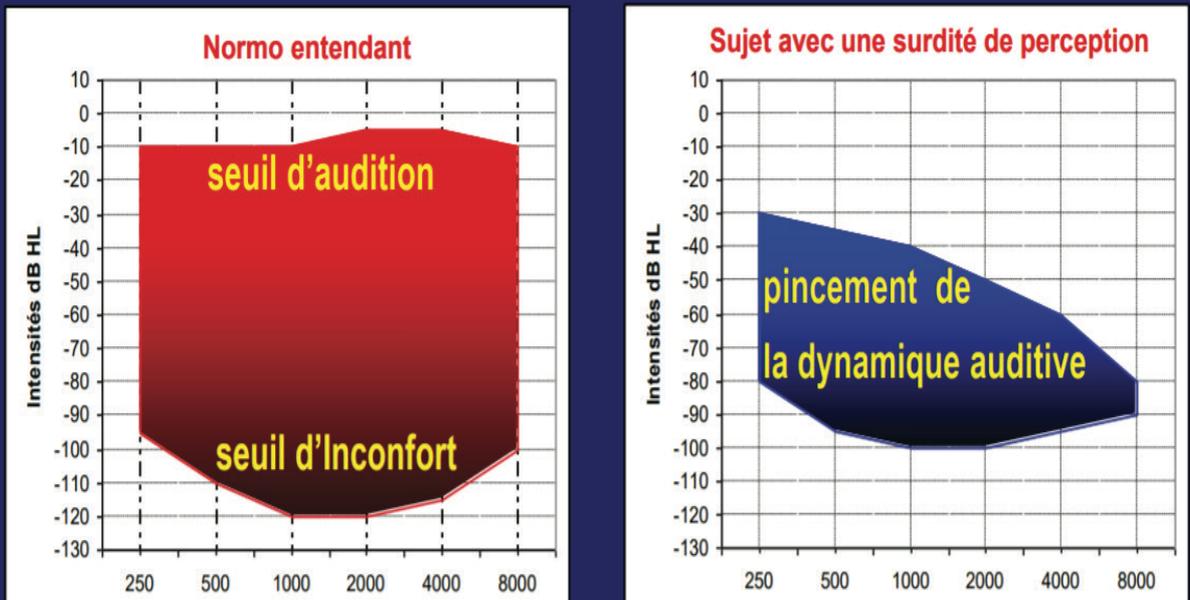


Figure 7 : La dynamique auditive résiduelle. À gauche, celle d'un normo-entendant et à droite, celle d'un sujet avec une surdité de perception. (Gallego S., 2020).

## VII. Les questionnaires, un outil pour quantifier le ressenti du patient

D'après *Dejean et Lurquin (2015)* : « Si vous voulez savoir ce que pense votre patient : Demandez-lui ! ». Des questionnaires sont ainsi mis à la disposition des audioprothésistes et permettent de quantifier la qualité et qualifier les informations subjectives.

### 1. Le questionnaire ABC équilibre

Le questionnaire Activities-specific Balance Confidence (ABC) Scale ou ABC équilibre a été établi par le Dr. Anita M. Myers de l'Université de Waterloo au Canada. (*Myers Anita M., ABC Scale and Instructions, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2022*). Il est basé sur le principe d'auto-évaluation et auto-complétion.

Il se compose de 16 items avec une échelle allant de 0 à 10, 0 étant la réponse « pas sûr du tout, pas confiant » et 10 correspondant à « parfaitement sûr et confiant ». La personne qui remplit le questionnaire doit se représenter en train d'effectuer des activités du quotidien et dans une position bipède et droite. Pour analyser un éventuel changement, l'échelle doit être administrée au moins deux fois (par exemple avant et après thérapie). En fin des années 1990, la directive de notation de la confiance a été modifiée. Le questionnaire est passé de la confiance à réaliser chaque activité « sans perdre l'équilibre ou devenir instable » à la confiance en « maintenir votre équilibre et rester stable ». Cette méthode d'évaluation est plus positive, affirmative et orientée vers l'action.

## 2. Le questionnaire SSQ15

Le SSQ (Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale) ou questionnaire d'habiletés auditives « Parole, audition spatiale et qualité d'audition » en français a été créé par Noble et Gatehouse en 2004. Il permet au patient de s'auto-évaluer dans différentes situations auditives du quotidien. Le patient utilise une échelle visuelle analogique (EVA) allant de 0 correspondant à « Non, pas du tout » à 10 signifiant « Oui, parfaitement ».

Il se compose de 49 questions regroupées en 3 catégories :

- Item sur la perception de la parole
- Item sur l'audition spatiale
- Item sur la qualité de l'audition

En pratique, il est assez compliqué d'utiliser ce questionnaire par l'audioprothésiste en raison de son grand nombre d'items et donc du temps de remplissage important qu'il induit. En effet, selon Moulin et al., 2015 : « Le temps de remplissage mesuré sur une population de patients âgés malentendants peut ainsi varier de 10 min à 1h pour les plus longs, avec un temps médian de passation de 17 minutes et de plus de 25 minutes pour 25% de la population testée ».

Ainsi, une version plus courte du SSQ a été développée en 2018 par Annie Moulin, Judith Vergne, Stéphane Gallego et Christophe Micheyl. Ce questionnaire a maintenu la structure à trois catégories mais a réduit le nombre total d'items à 15. Pour chaque question, le patient s'auto-évalue sur une échelle de 0 à 10.

Le 0 indique que la personne n'est pratiquement pas en mesure de réaliser ni d'expérimenter ce qui est écrit et le 10 signifie que le sujet est parfaitement capable de réaliser cette action. Afin d'établir ce nouveau questionnaire, des analyses de vecteurs et de groupes hiérarchiques ont été utilisées pour vérifier la structure factorielle et la cohérence interne de la nouvelle forme abrégée. Des comparaisons ont été faites avec toutes les autres formes de SSQ, soient le SSQ classique, l'échelle SSQ15 allemande, l'échelle SSQ12 et l'échelle SSQ5 et c'est le SSQ15 qui s'est montré le plus sensible.

### 3. Le questionnaire DHI

Le questionnaire DHI (Dizziness Handicap Inventory) a été développé par *Erni et Guyot* dans les années 2000 afin d'évaluer les effets handicapants perçus par les patients eux-mêmes causés par leurs troubles vestibulaires. Le questionnaire se compose de trois items :

- Item fonctionnel noté sur 9.
- Item émotionnel noté sur 9.
- Item physique noté sur 7.

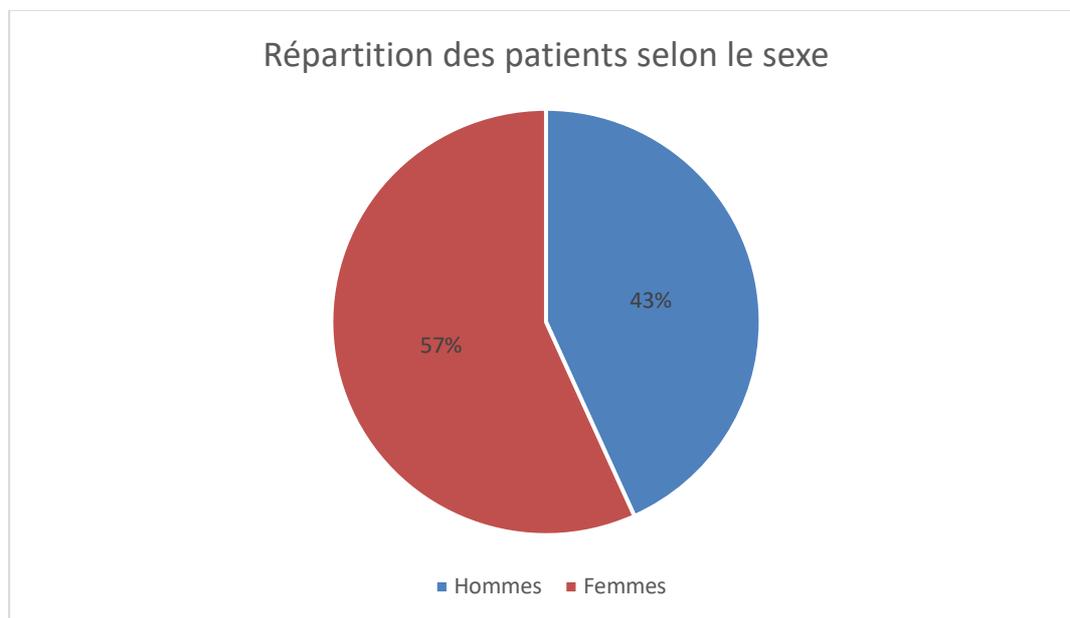
Ceci permet de quantifier le ressenti du patient lié au vertige et à l'instabilité. L'échelle utilisée est une échelle catégorielle avec trois réponses possibles : l'absence de gêne vaut zéro point, une gêne variable deux points et une gêne constante en vaut quatre. On obtient un score final sur 100.

# PARTIE EXPÉRIMENTALE

## I) Matériel et méthode

### 1. Population étudiée

L'étude a été menée sur 37 patients, dont 16 hommes et 21 femmes âgés de 48 à 91 ans.



*Figure 8 : Diagramme circulaire de la répartition des patients selon leur sexe.*

L'âge moyen des patients est de 72,8 ans avec un écart-type de 9,6 ans. Le patient le plus jeune a 48 ans et le plus âgé a 91 ans.

Les patients de l'étude sont appareillés depuis 6 ans en moyenne (écart-type= 4,8 ans) avec une durée minimale de 6 mois et maximale de 18 ans.

La durée de port moyenne des appareils est de 12,2 heures par jour (écart-type= 2,2 heures) avec une durée de port minimale de 8 heures et maximale de 15 heures.

*Tableau 1 : Tableau représentant l'ancienneté des appareils droit et gauche*

ACA Droit	ACA Gauche
Ancienneté moyenne (mois) 23,8	Ancienneté moyenne (mois) 25,6
Ancienneté moyenne min (mois) 1	Ancienneté moyenne min (mois) 1
Ancienneté moyenne max (mois) 103	Ancienneté moyenne max (mois) 103
Écart-type (mois) 24,5	Écart-type (mois) 25,5

Les critères de non-inclusion des sujets étaient les suivants :

- Sujets appareillés en monaural.
- Sujets avec une surdité fluctuante
- Sujets ayant une surdité avec une composante transmissionnelle
- Sujets en période d'essai
- Sujets ayant une surdité bilatérale ou unilatérale (monaurale) sévère à profonde
- Sujets présentant une cophose ou subcophose
- Sujets appareillés en CROS, BICROS ou TRICROS, BAHA ou implant cochléaire
- Sujets avec des troubles cognitifs
- Sujets portant leurs appareils moins de 8 heures par jour
- Sujets ayant moins de 18 ans

## 2. Le matériel utilisé

Les tests ont été réalisés au sein d'une cabine insonorisée avec le matériel suivant :

- Audiomètre de la marque Natus
- Deux haut-parleurs
- Un casque TDH 39
- Le logiciel OTOsuite Audiometry
- Les logiciels fabricants
- Les questionnaires ABC équilibre, SSQ15, DHI
- Des échelles visuelles analogiques

## 3. Dispositif expérimental

Avec mes collègues, nous avons un protocole commun afin de regrouper le maximum de patients pour l'étude.

La méthode de stéréo équilibrage employée pour réaliser ce mémoire a été mise en place avec Mr Stéphane GALLEGO et Mme Annie MOULIN.

Les sujets ont été répartis aléatoirement en deux groupes afin de s'assurer qu'il n'y ait pas d'effet d'apprentissage de la tâche ou de variabilité liée au test-retest :

- Groupe 1 : nous avons effectué les tests à J0 sans modifier les réglages puis un retest à J15 suivi d'un réglage avec stéréo équilibrage et enfin un retest à J30.
- Groupe 2 : nous avons fait les tests à J0 suivi du stéréo équilibrage des appareils et modifications de réglages nécessaires, un retest à J15 et J30.

L'étude est une étude longitudinale pour laquelle nous avons suivi les patients durant un mois avec trois rendez-vous espacés chacun d'une quinzaine de jours afin de voir s'il y a une évolution des résultats obtenus sur l'ensemble des tests.

Le rendez-vous se déroulait de la manière suivante :

Tout d'abord, nous avons réalisé l'otoscopie puis nous fournissions **les questionnaires ABC équilibre, SSQ15 et DHI** au patient pendant que nous allions nettoyer les appareils.

Ensuite, nous avons mesuré les **seuils liminaires au casque TDH39** ainsi que **les seuils d'inconfort**. Ceci nous permettait de connaître la dynamique auditive résiduelle du patient.

Nous avons procédé par la suite à la mesure des **seuils liminaires prothétiques** en champ libre avec les aides auditives, tout d'abord oreilles séparées puis en bilatéral (sons vobulés par pas de 2 dB et nous rajoutions 2 dB à la réponse du patient).

Puis, nous avons effectué la **mesure en champ libre des MCL** avec les appareils. Pour cela, nous utilisons une échelle catégorielle de la sonie permettant au patient d'exprimer son ressenti allant de « Rien, très faible, faible, confortable, fort, très fort à trop fort ». Nous avons diffusé des sons vobulés par pas de 5 dB puis de 2 dB à partir du seuil tonal liminaire jusqu'à ce que le patient nous indique que le son est « Très fort » et nous ajoutons 2 dB HL pour obtenir le MCL. Nous répétons la diffusion du son en balayant toutes les fréquences par bande d'octave de 250 Hz à 8 kHz.

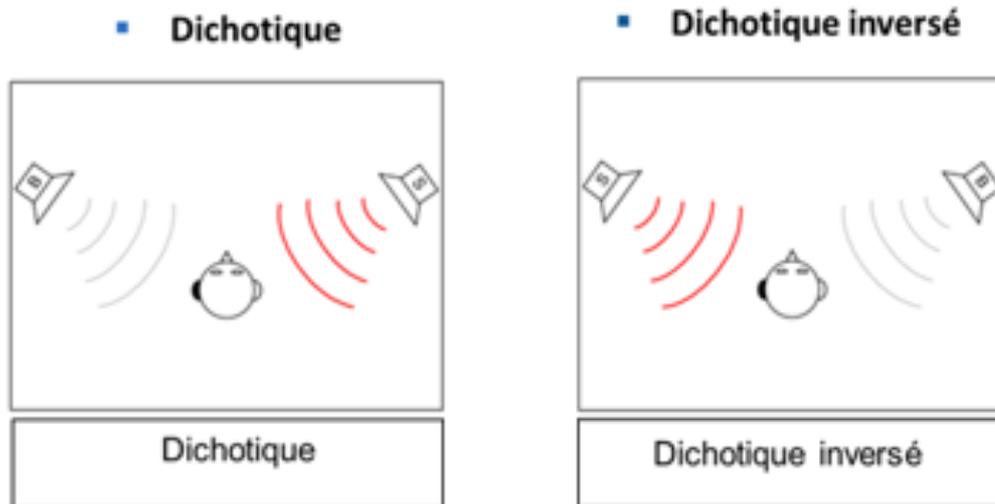
Après avoir effectué la mesure de MCL en tonal nous avons établi **la mesure en champ libre des MCL en vocal**. Nous avons diffusé la première liste de Fournier, en voix d'homme puis en voix de femme à forte intensité. La liste était diffusée à une intensité de 60 dB SPL puis nous avons augmenté l'intensité de la liste par pas de 5 dB puis par pas de 2 dB jusqu'à ce que le patient nous dise que le son se situe entre « fort et très fort ». Le but de cette mesure est d'appréhender la gêne du patient pour un signal de parole et avoir des MCL qui approchent les 80 dB SPL.

Nous réalisons ensuite un **test d'équilibre de sonie en supraliminaire** à 55 dB HL avec des sons vobulés continus. Nous avons diffusé en champ libre des sons vobulés à 55 dB HL. Le patient nous indiquait sur une échelle gauche/droite de -5 à +5 de quel côté le son lui semblait le plus fort. Cette échelle nous permettait d'avoir le degré de latéralisation.

Enfin, nous avons effectué les **tests de compréhension dans le bruit**. Nous diffusons les listes de LAFON à 65 dB SPL avec un RSB de +3 dB ou un RSB de + 6 dB dans la configuration dichotique (Bruit du côté de la bonne oreille / Parole du côté de la mauvaise oreille pour les surdités asymétriques) et dichotique-inversé (Parole du côté de la bonne oreille / Bruit du côté de la mauvaise oreille pour les surdités asymétriques). Pour les surdités symétriques, en condition dichotique, la parole à 65 dB SPL était diffusée sur l'oreille droite et le bruit sur l'oreille gauche.

Pour les surdités symétriques, en condition dichotique-inversée, la parole à 65 dB SPL était diffusée sur l'oreille gauche et le bruit sur l'oreille droite. Un bruit de type cocktail-party était utilisé. Les sujets étaient testés avec un RSB +6 s'ils avaient moins de 30% d'intelligibilité aux tests dichotique et dichotique-inversé pour un RSB +3 dB.

Ce test était suivi de la **Mesure de l'effort d'écoute** lors des tests dichotique et dichotique-inversé par l'intermédiaire d'une échelle de mesure d'effort.



*Figure 9 : Configuration des HP pour les tests dichotique et dichotique inversé. (Gallego S., 2020).*

Concernant la **Modification des réglages**, selon le groupe, nous essayions d'obtenir un équilibre sur le test d'équilibre de sonie en supraliminaire et avoir des MCL autour de 85 dB HL (sons vobulés). Pour cela, nous modifions les Gains à 50, 65 et 80 ainsi que les MPO. Ces modifications étaient suivies d'un retest des MCL (tonal) en champ libre et en bilatéral avec des sons vobulés et échelle catégorielle pour obtenir une sensation de sonie « très forte » à 80 dB HL sur toutes les fréquences. Notre objectif était d'obtenir la courbe la plus plate possible. Nous réalisons également un retest du test d'équilibre de sonie en supraliminaire en champ libre avec appareils afin de vérifier nos modifications.

Tableau 2 : Tableau récapitulatif de la passation des tests

	Groupe 1	Groupe 2
J0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Questionnaires ABC Équilibre, SSQ15, DHI</li> <li>- Seuils liminaires monauraux.</li> <li>- Mesure MCL oreilles séparées au casque.</li> <li>- Mesure de seuil prothétique monaural et binaural.</li> <li>- Mesure des MCL prothétiques binauraux en tonale et en vocale.</li> <li>- Test d'équilibre de sonie.</li> <li>- Mesure d'intelligibilité dans le bruit et effort d'écoute</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Questionnaires ABC Équilibre, SSQ15, DHI</li> <li>- Seuils liminaires monauraux.</li> <li>- Mesure MCL oreilles séparées au casque</li> <li>- Mesure de seuil prothétique monaural et binaural.</li> <li>- Mesure des MCL prothétiques binauraux en tonale et en vocale.</li> <li>- Test d'équilibre de sonie.</li> <li>- Mesure d'intelligibilité dans le bruit et effort d'écoute</li> <li>- <b>Modification des réglages : stéréo-équilibrage</b> ⇒ <b>Retest :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Test d'équilibre de sonie</b></li> <li>○ <b>MCL tonal</b></li> </ul> </li> </ul>
J15	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Questionnaires ABC Équilibre, SSQ15, DHI</li> <li>- Mesure de seuil prothétique monaural et binaural.</li> <li>- Mesure des MCL prothétiques binauraux.</li> <li>- Test d'équilibre de sonie.</li> <li>- Mesure d'intelligibilité dans le bruit et effort d'écoute.</li> <li>- <b>Modification des réglages : stéréo-équilibrage</b> ⇒ <b>Retest :</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Questionnaires ABC Équilibre, SSQ15, DHI</li> <li>- Mesure de seuil prothétique monaural et binaural.</li> <li>- Mesure des MCL prothétiques binauraux en tonale et en vocale.</li> <li>- Test d'équilibre de sonie.</li> <li>- Mesure d'intelligibilité dans le bruit et effort d'écoute</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Test d'équilibre de sonie.</b></li> <li>○ <b>MCL tonal.</b></li> </ul>	
J30	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Questionnaires ABC Équilibre, SSQ15, DHI</li> <li>- Mesure de seuil prothétique monaural et binaural.</li> <li>- Mesure des MCL prothétiques binauraux.</li> <li>- Test d'équilibre de sonie.</li> <li>- Mesure d'intelligibilité dans le bruit et effort d'écoute</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Questionnaires ABC Équilibre, SSQ15, DHI</li> <li>- Mesure de seuil prothétique monaural et binaural.</li> <li>- Mesure des MCL prothétiques binauraux.</li> <li>- Test d'équilibre de sonie.</li> <li>- Mesure d'intelligibilité dans le bruit et effort d'écoute</li> </ul>

## II) L'analyse des résultats

### 1. Le questionnaire ABC équilibre

Pour le groupe 1, le test non paramétrique de Friedman n'a pas révélé de différence significative entre les différents rendez-vous ( $p\text{-value} = 0,146 > 0,05$ ) pour le questionnaire ABC équilibre. Le questionnaire est noté sur 160 points mais nous l'avons ramené à 10 points pour faciliter l'analyse des résultats. Sur l'ensemble des graphiques, la barre en orange correspond au moment où le stéréo-équilibrage a été effectué.

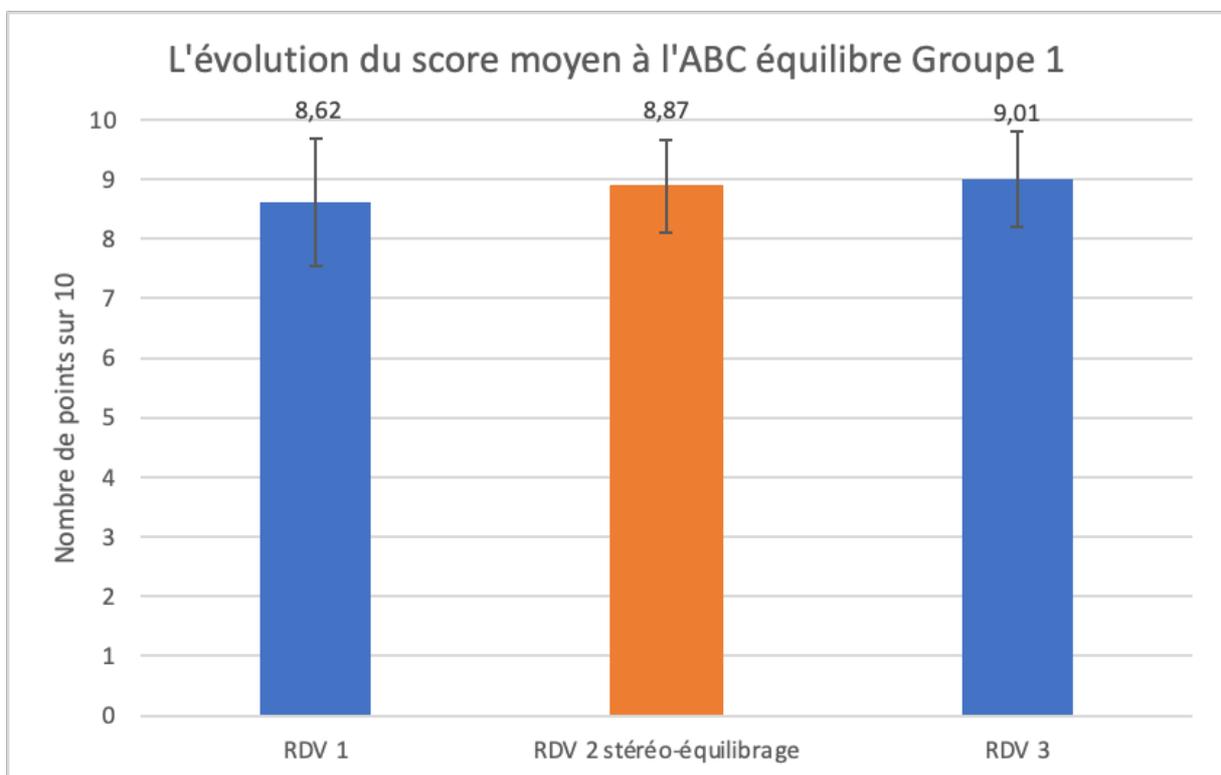


Figure 10 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'ABC équilibre pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibrage).

Pour le groupe 2, le test non paramétrique de Friedman n'a pas révélé de différence significative entre les différents rendez-vous ( $p\text{-value} = 0,375 > 0,05$ ). Le stéréo équilibrage n'a pas modifié les résultats. En effet, la moyenne des scores entre le RDV n°1 et le RDV n°3 a varié de 0,01 ce qui est négligeable.

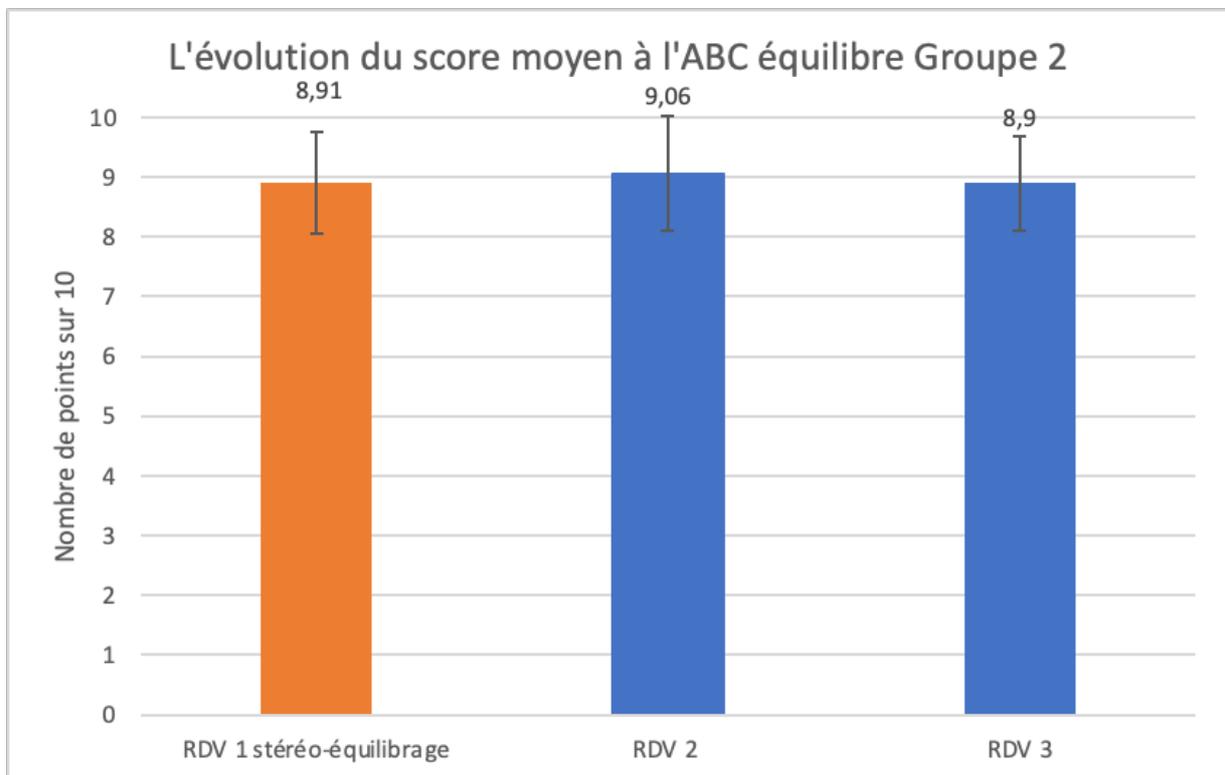
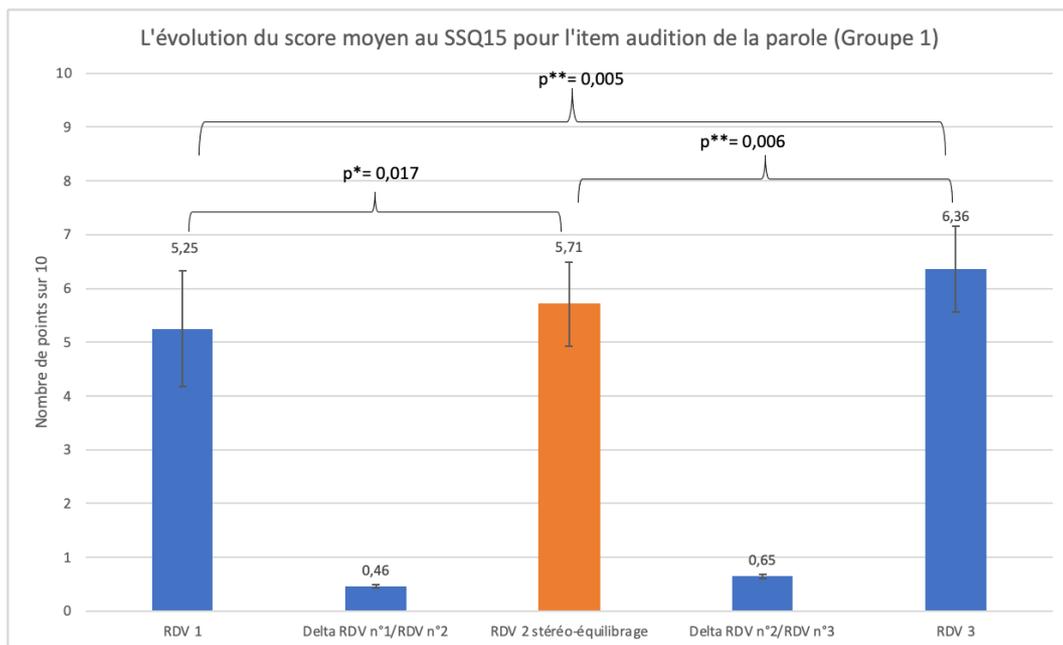


Figure 11 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'ABC équilibre pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibrage).

## 2. Le questionnaire SSQ15

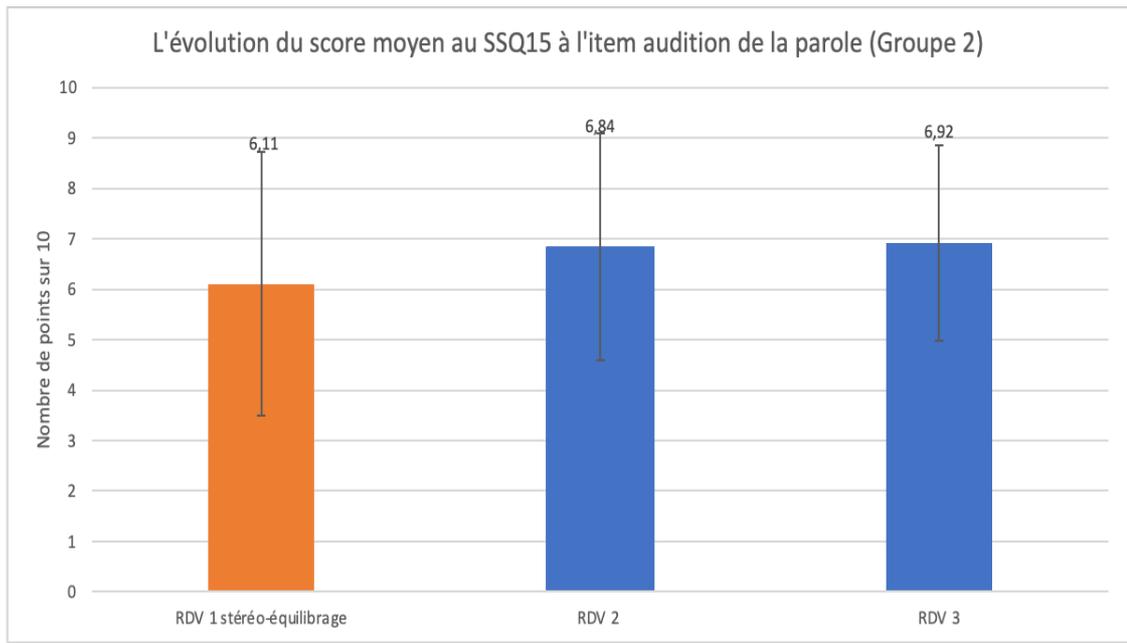
### a. Item audition de la parole

Le test non paramétrique de Friedman a révélé une différence significative de l'item audition de la parole au questionnaire SSQ15 ( $p\text{-value}^* = 0,002 < 0,05$ ). Le test des rangs signés de Wilcoxon montre une amélioration significative de la moyenne de +0,46 points pour l'item audition de la parole entre le RDV n°1 et le RDV n°2 correspondant au rendez-vous de stéréo-équilibrage ( $p\text{-value}^* = 0,017 < 0,05$ ). De plus, le test des rangs signés de Wilcoxon a révélé une amélioration significative de la moyenne de +0,65 points entre le RDV n°2 et le RDV n°3 ( $p\text{-value}^{**} = 0,006 < 0,05$ ) et une augmentation significative ( $p\text{-value}^{**} = 0,005 < 0,05$ ) entre le RDV n°1 et le RDV n°3. Le score pour l'item audition de la parole moyen a augmenté de manière significative de +1,11 points entre le premier et le troisième rendez-vous.



*Figure 12 : Histogramme de l'évolution du score moyen au SSQ15 à l'item audition de la parole pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibrage).*

Pour le groupe 2, l'ajustement des réglages a été effectué dès le premier RDV. Le test non paramétrique de Friedman n'a pas révélé de différence significative ( $p\text{-value} = 0,127 > 0,05$ ) de l'item audition de la parole entre les différents rendez-vous.



*Figure 13 : Histogramme de l'évolution du score moyen au SSQ15 à l'item audition de la parole pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibrage).*

## b. Item audition spatiale

Pour le groupe 1, le test non paramétrique de Friedman a montré une différence significative de la moyenne pour l'item sur l'audition spatiale ( $p\text{-value}^* = 0,023 < 0,05$ ). Le test des rangs signés de Wilcoxon a mis en évidence une différence significative entre le RDV n°2 (= rendez-vous de stéréo-équilibre) et le RDV n°3 ( $p\text{-value}^* = 0,038 < 0,05$ ) avec une augmentation de la moyenne de +0,42 points et une différence significative entre le RDV n°1 et le RDV n°3 ( $p\text{-value}^{**} = 0,009 < 0,05$ ) avec une augmentation de la moyenne de +0,94 points. De plus, le test des rangs signés de Wilcoxon ne montre pas de différence significative entre le RDV n°1 et le RDV n°2 ( $p\text{-value} = 0,065 > 0,05$ ).

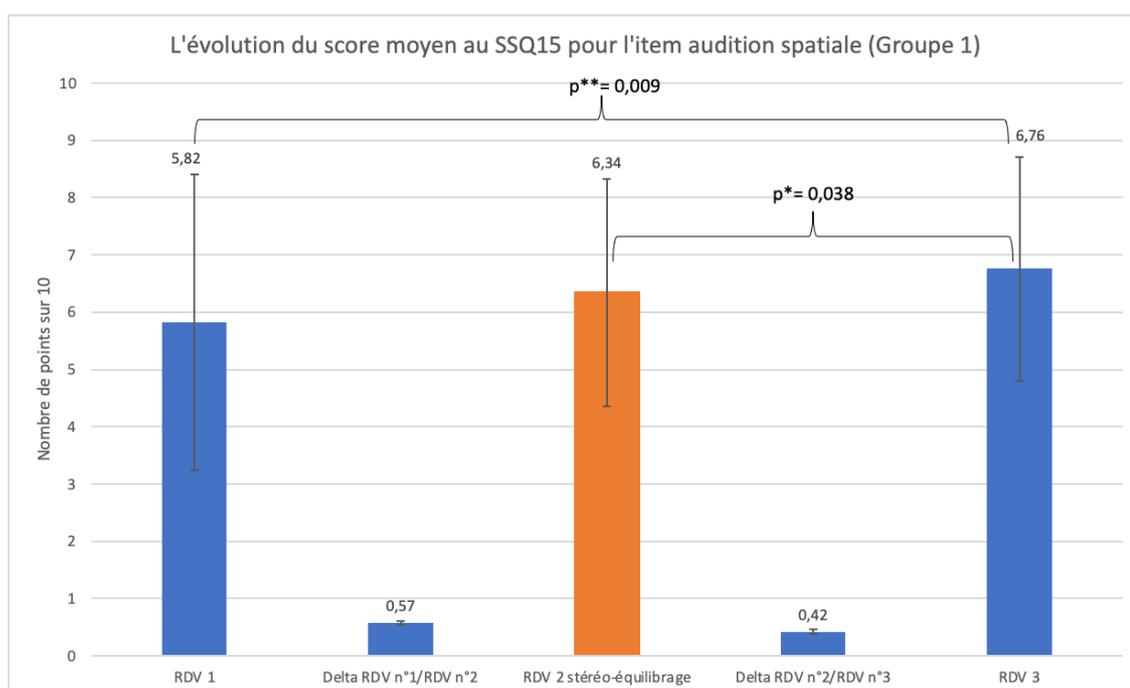
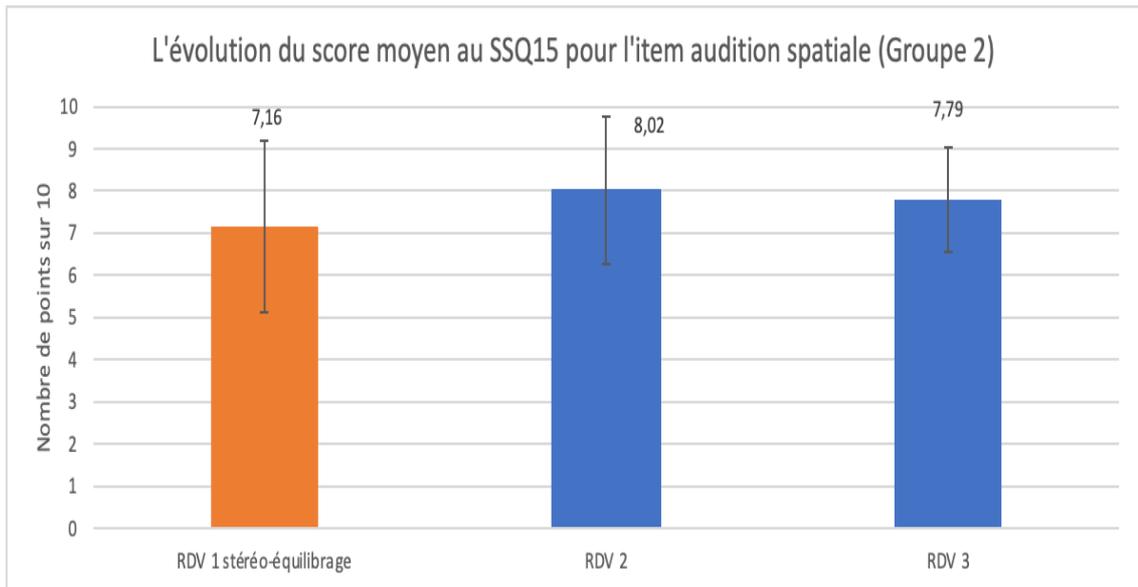


Figure 14 : Histogramme de l'évolution du score moyen au SSQ15 à l'item audition spatiale pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).

Concernant le groupe 2, le test non paramétrique de Friedman ne révèle pas de différence significative pour l'item audition spatiale entre les différents rendez-vous ( $p\text{-value} = 0,073 > 0,05$ ).



*Figure 15 : Histogramme de l'évolution du score moyen au SSQ15 à l'item audition spatiale pour le groupe 2 (orange=rendez-vous de stéréo-équilibre).*

### c. Item qualité de l'audition

Pour les deux groupes, le test non paramétrique de Friedman ne révèle pas de différence significative de l'item sur la qualité de l'audition. (Pour le groupe 1, p-value= 0,504 > 0,05 et pour le groupe 2, p-value = 0,290 > 0,05).

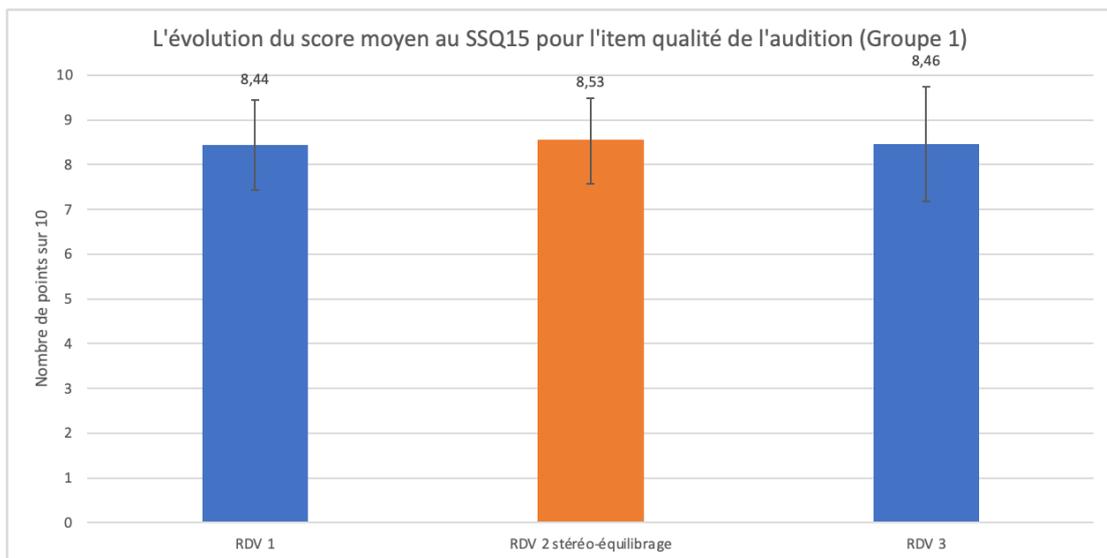


Figure 16 : Histogramme de l'évolution du score moyen au SSQ15 à l'item qualité de l'audition pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibrage).

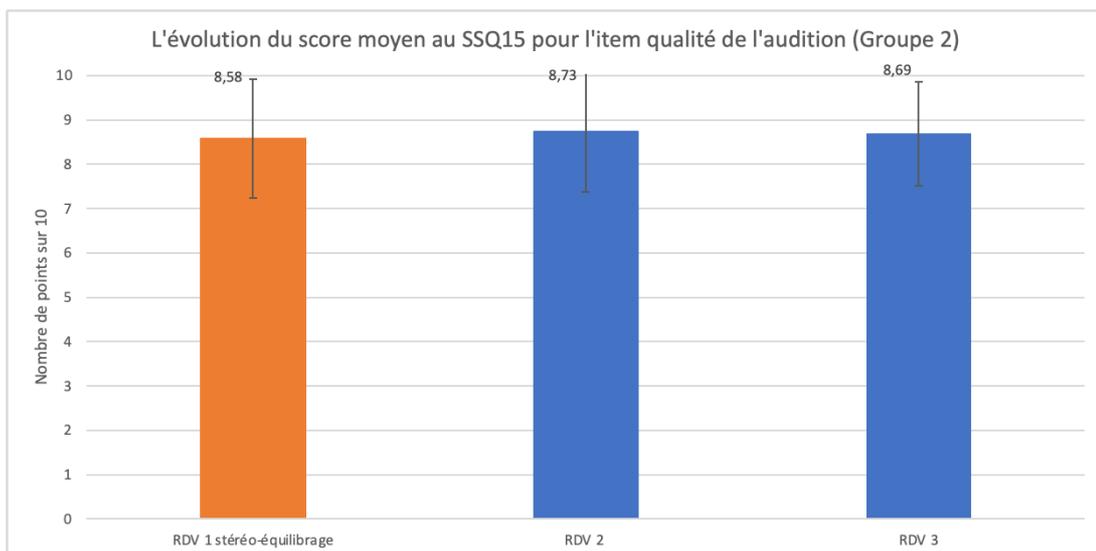


Figure 17 : Histogramme de l'évolution du score moyen au SSQ15 à l'item qualité de l'audition pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibrage).

#### d. Score total au questionnaire SSQ15

Enfin, pour le score total au SSQ15 pour le groupe 1, le test non paramétrique de Friedman a révélé une différence significative ( $p\text{-value}^{**} = 0,001 < 0,01$ ) entre les différents rendez-vous. En outre, le test des rangs signés de Wilcoxon révèle une augmentation significative ( $p\text{-value}^* = 0,022 < 0,05$ ) de la moyenne de +0,35 points entre le RDV n°1 et le RDV n°2 (rendez-vous de stéréo-équilibre), une amélioration significative ( $p\text{-value}^* = 0,019 < 0,05$ ) de la moyenne de +0,33 points entre le RDV n°2 et le RDV n°3 et une amélioration significative ( $p\text{-value}^{**} = 0,006 < 0,05$ ) de la moyenne de +0,68 points entre le RDV n°1 et le RDV n°3.

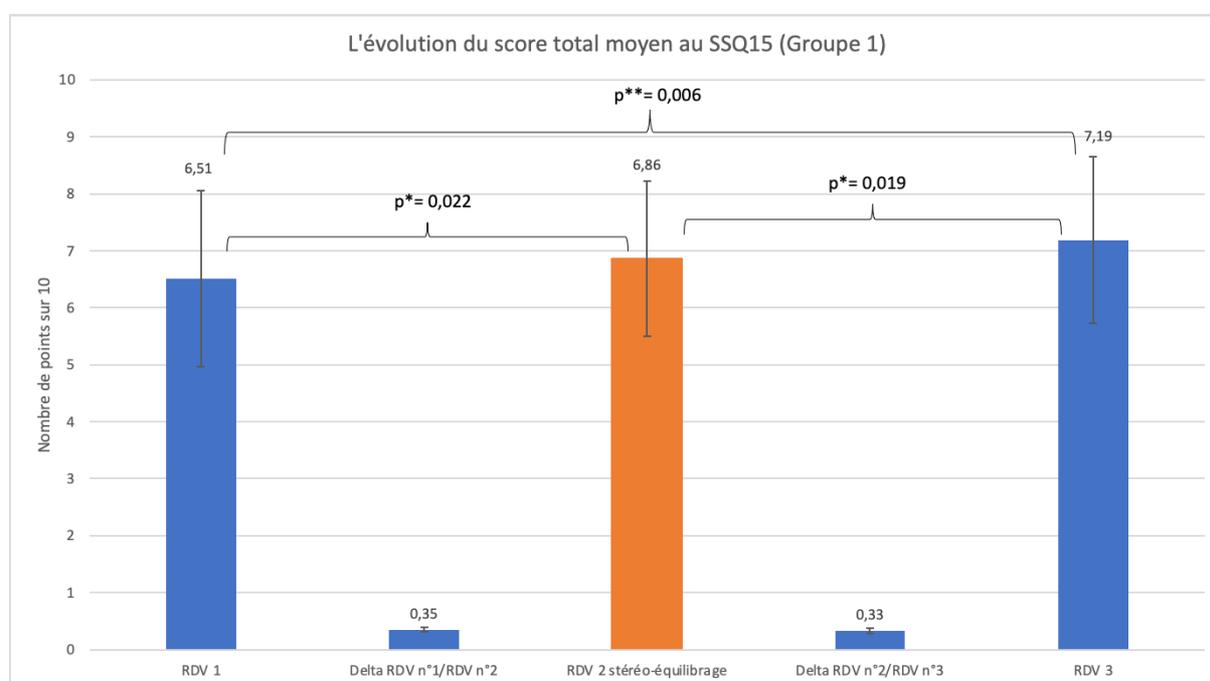
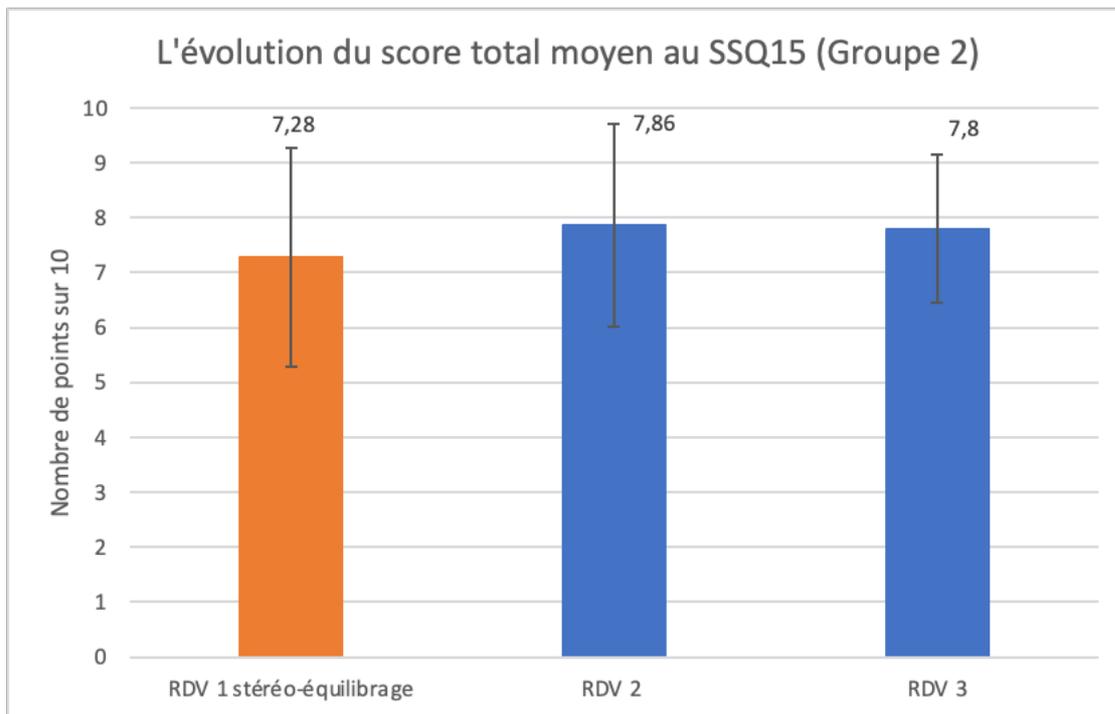


Figure 18 : Histogramme de l'évolution du score moyen total au SSQ15 pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).

Pour le groupe 2, le test non paramétrique de Friedman n'a pas montré de différence significative ( $p\text{-value} = 0,109 > 0,05$ ) du score total moyen au SSQ15.



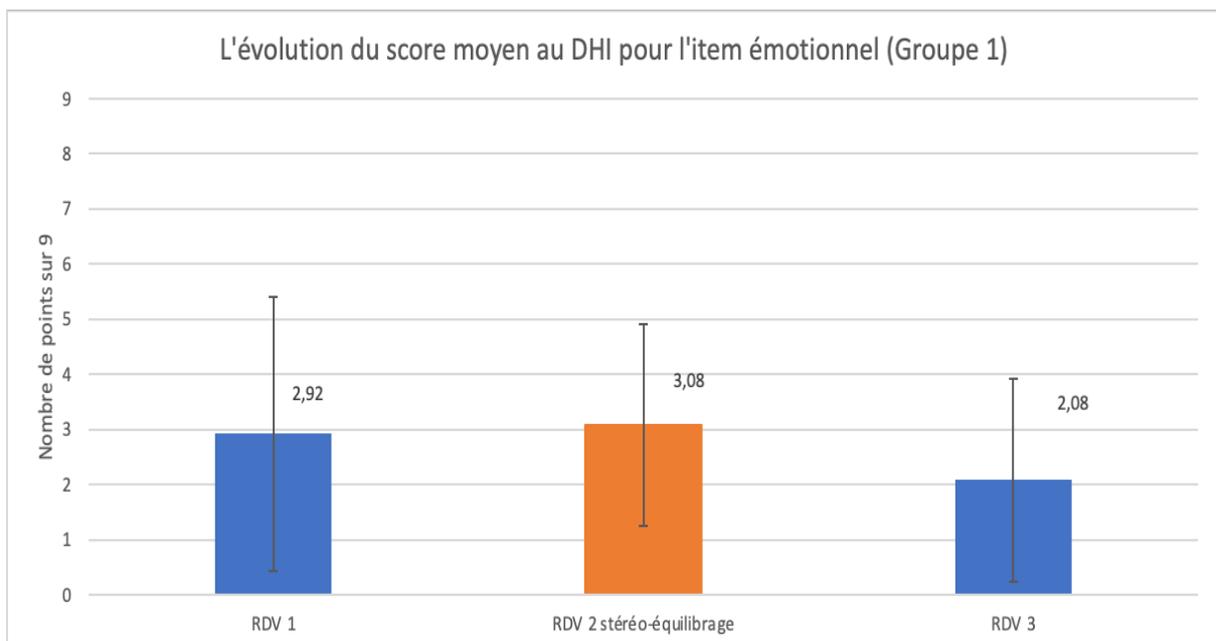
*Figure 19 : Histogramme de l'évolution du score moyen total au SSQ15 pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).*

### 3. Le questionnaire DHI

Pour rappel, le questionnaire DHI permet d'évaluer le handicap des patients liés aux troubles de l'équilibre et aux vertiges. Plus le score est élevé, plus le patient est gêné.

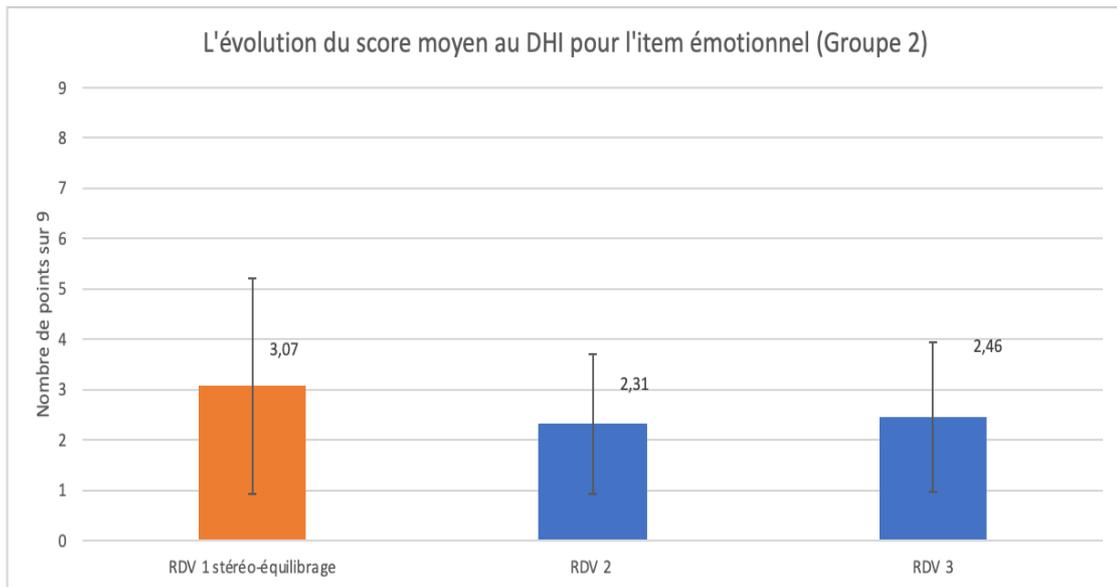
#### a. Item émotionnel

Tout d'abord, pour le groupe 1 pour l'item émotionnel, le test non paramétrique de Friedman ne montre pas de différence significative ( $p\text{-value} = 0,087 > 0,05$ ) de la moyenne des patients après nos réglages.



*Figure 20 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'item émotionnel au DHI pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).*

Pour le groupe 2, le test non paramétrique de Friedman n'a pas révélé de différence significative ( $p\text{-value} = 0,381 > 0,05$ ) du score des patients à l'item émotionnel.



*Figure 21 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'item émotionnel au DHI pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibrage).*

## b. Item fonctionnel

Concernant l'item fonctionnel, pour le groupe 1, le test non paramétrique de Friedman n'a pas révélé de différence significative entre les trois RDV ( $p$ -value= 0,602 > 0,05).

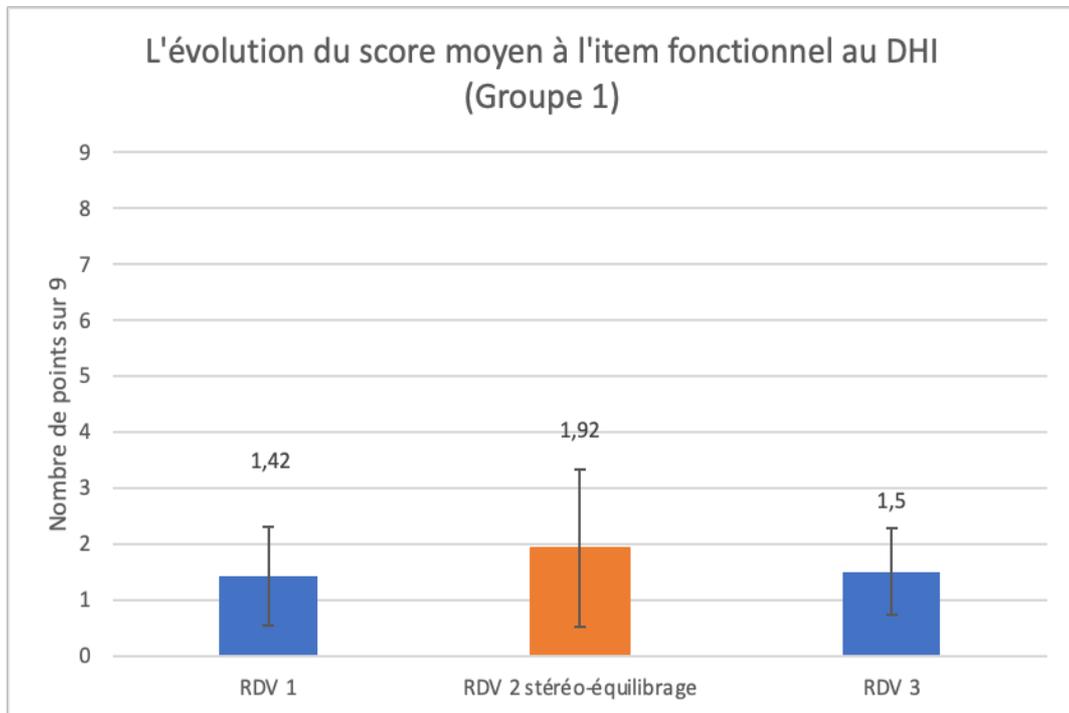
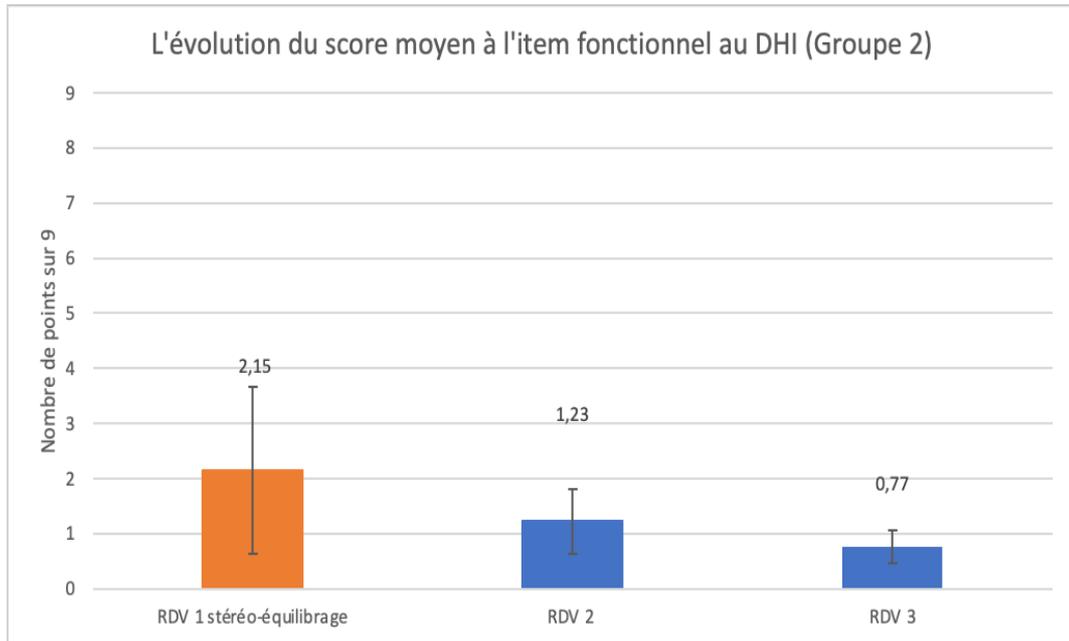


Figure 22 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'item fonctionnel au DHI pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).

Pour le groupe 2, le test non paramétrique de Friedman n'a pas mis en évidence de différence significative entre les différents rendez-vous ( $p\text{-value} = 0,517 > 0,05$ ).



*Figure 23 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'item fonctionnel au DHI pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).*

### c. Item physique

Pour l'item physique, pour le groupe 1, le test non paramétrique de Friedman n'a pas montré de différence significative ( $p\text{-value} = 0,073 < 0,05$ ) entre les différents rendez-vous.

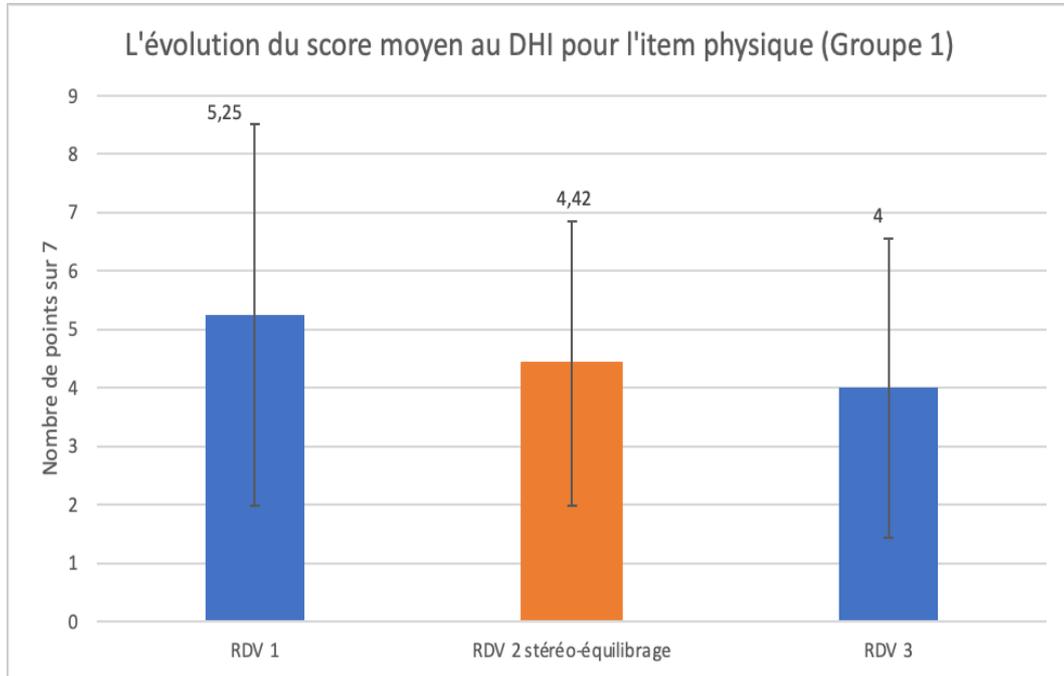


Figure 24 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'item physique au DHI pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).

Pour le groupe 2, le test non paramétrique de Friedman n'a pas révélé de différence significative ( $p\text{-value} = 0,112 > 0,05$ ) entre les trois rendez-vous.

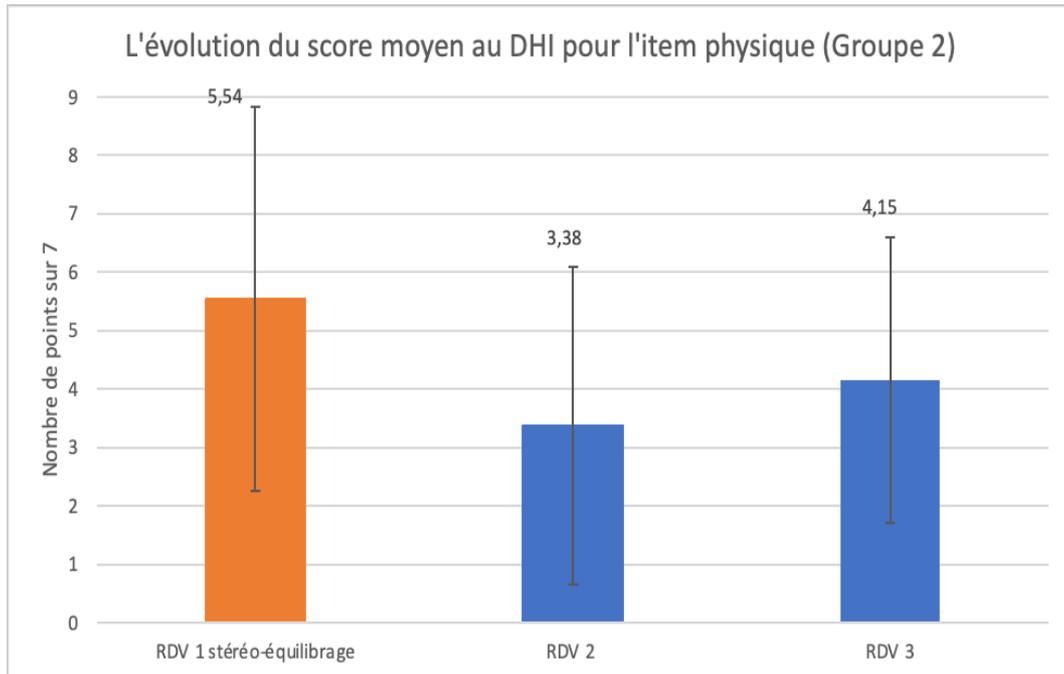


Figure 25 : Histogramme de l'évolution du score moyen à l'item physique au DHI pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).

#### d. Score total au questionnaire DHI

Enfin, pour le score total au DHI pour le groupe 1, le test non paramétrique de Friedman ne relève pas de différence significative entre les différents rendez-vous.

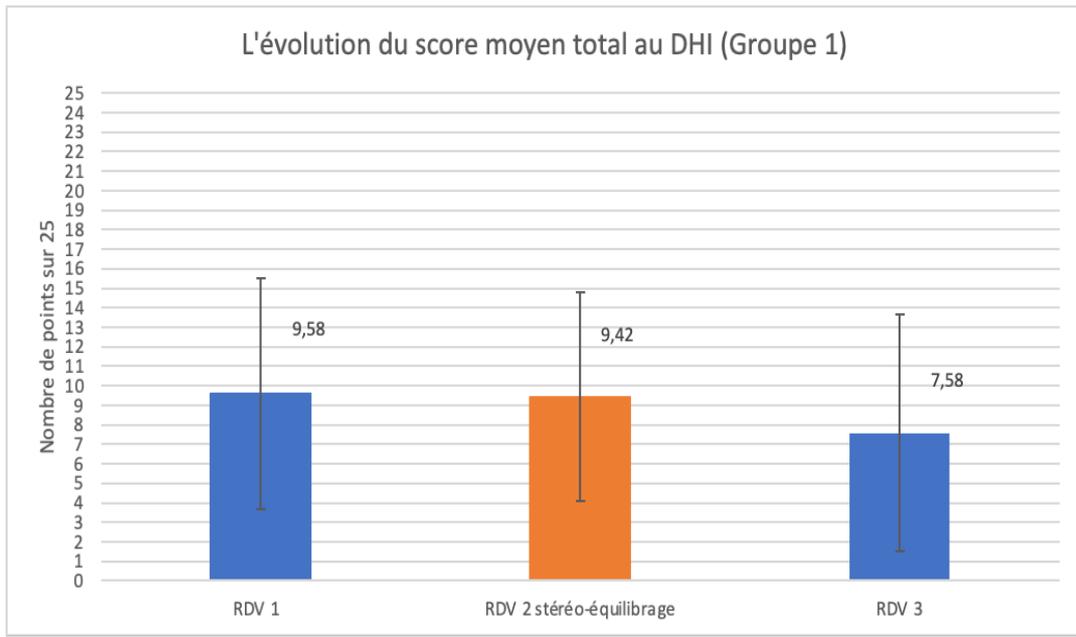


Figure 26 : Histogramme de l'évolution du score moyen total au DHI pour le groupe 1 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibre).

Concernant le groupe 2, pour le score total au DHI, le test non paramétrique de Friedman révèle une différence significative ( $p\text{-value}^* = 0,025 < 0,05$ ) entre les différents rendez-vous. D'après le test des rangs signés de Wilcoxon, on relève une diminution de la moyenne des patients de 3,85 points entre le RDV n°1 qui correspond au rendez-vous de stéréo-équilibrage et le RDV n°2 ( $p\text{-value}^* = 0,012 < 0,05$ ) mais pas de différence significative entre le RDV n°2 et le RDV n°3 ( $p\text{-value} = 0,618$ ). De plus, comme pour le groupe 1, la différence entre le RDV n°1 et le RDV n°3 n'est pas significative ( $p\text{-value} = 0,113 > 0,05$ ).

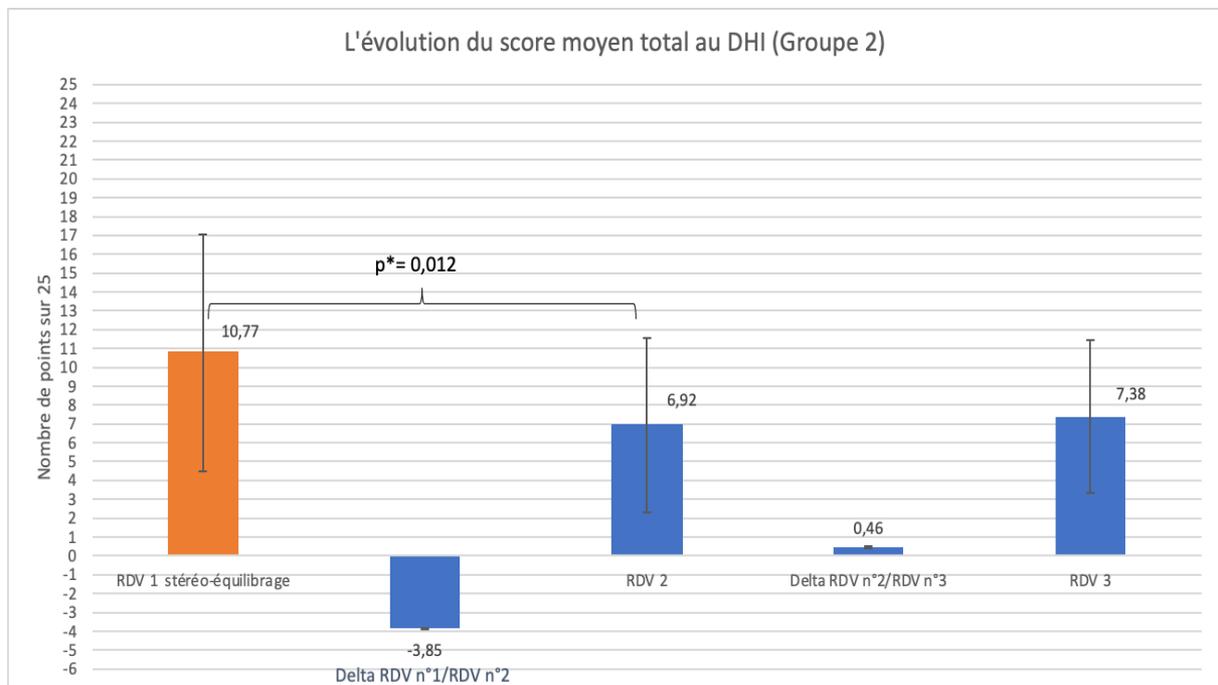


Figure 27 : Histogramme de l'évolution du score moyen total au DHI pour le groupe 2 (orange= rendez-vous de stéréo-équilibrage).

# DISCUSSION

L'objectif de notre étude était d'évaluer l'impact du stéréo-équilibrage sur l'équilibre des patients à l'aide de questionnaires.

## I) Discussion des résultats

### 1. Les résultats inchangés au questionnaire ABC équilibre

L'analyse statistique n'a pas mis en évidence de différence significative au questionnaire ABC Équilibre pour nos deux groupes de patients. Le questionnaire ABC Équilibre vise à évaluer la confiance du patient en son équilibre pour la réalisation de différentes tâches du quotidien, donc plus le résultat est important, plus le patient a confiance en son équilibre. Il n'y a pas eu de variation des résultats au fil des rendez-vous et après ajustement des réglages (stéréo-équilibrage). Il serait intéressant lors d'une prochaine étude de tester les patients sur une plus longue durée afin qu'ils soient davantage confrontés aux différentes situations du quotidien énoncées dans le questionnaire.

### 2. L'amélioration des résultats au questionnaire SSQ15

Les modifications de réglage ont permis de relever une différence significative aux résultats du questionnaire SSQ15 entre l'avant et après réglages pour le groupe 1. Notre méthode de stéréo-équilibrage aurait permis d'améliorer l'audition de la parole ainsi que l'audition spatiale et le score global au questionnaire SSQ15 pour notre

premier groupe de patient. Rétablir un équilibre binaural permettrait donc d'améliorer la localisation et ainsi réduire le risque de chutes.

En effet, si une personne peine à localiser, elle devra bouger la tête ou le tronc (hypersollicitation) ce qui induira trop de mouvements et une instabilité voire une chute. (Gallego, 2021). Pour le groupe 2, il n'y a pas eu de variation des résultats. La taille de l'échantillon pourrait expliquer cette différence entre les groupes 1 et 2. En outre, pour le groupe 1, l'ajustement des réglages aurait permis d'améliorer les résultats de nos patients tandis que cela n'a pas eu d'effet pour le groupe 2. Le groupe 1 étant composé de 24 patients et le groupe 2 de 13 patients, ce dernier ne permet peut-être pas de détecter des différences significatives pour les scores. Il est possible que les résultats soient plus influencés par des facteurs aléatoires.

Concernant la qualité de l'audition, on ne note aucun changement significatif des résultats pour les deux groupes. On peut donc déduire que la méthode de stéréo-équilibrage n'aurait pas d'incidence sur la qualité de l'audition.

### 3. Les résultats au questionnaire DHI

On relève des disparités de résultats au questionnaire DHI. En effet, il n'y a pas de différence significative après nos réglages aux différents items du questionnaire : émotionnel, fonctionnel et physique pour nos deux groupes de patients à travers les trois rendez-vous. Toutefois, on relève une amélioration significative du score global au questionnaire pour le groupe 2, ce qui signifie que nous avons probablement diminué la gêne associée aux troubles vestibulaires de ces patients.

Nous n'avons pas mis en évidence une diminution nette et significative des scores au DHI contrairement à l'étude menée l'année précédente par *Matthieu Crépin (2021)* qui a relevé des résultats intéressants.

## II) Limite des tests effectués

### 1. L'effet d'apprentissage

Les résultats de nos patients aux différents questionnaires ont pu être influencés par l'effet d'apprentissage ou de répétition de la tâche. En effet, pour des études longitudinales, les améliorations de performances peuvent être liées à ces effets plutôt qu'à un réel changement. Les patients peuvent également répondre de manière plus positive car ils sont devenus plus confiants au cours des rendez-vous. Par conséquent, il est important de considérer ce facteur dans l'analyse de nos résultats.

### 2. Le facteur temps

Nous avons constitué deux groupes aléatoires afin de vérifier s'il y avait ou non un effet d'apprentissage lié au test-retest. Pour rappel, l'ajustement des réglages était effectué au deuxième RDV pour le groupe 1 et au premier RDV pour le groupe 2. Toutefois, les deux groupes de patients ne sont pas immédiatement comparables en raison du facteur temps qui entre en jeu. En effet, les patients du groupe 1 disposaient de deux semaines pour tester les nouveaux réglages alors que les patients du groupe 2 avaient un mois. Nous ne pouvons donc pas directement comparer les résultats entre les deux groupes, car la durée de test est différente.

### 3. La différence de taille d'échantillons

Les deux groupes sont difficilement comparables également en raison de la taille de l'échantillon qui diffère. Le groupe 1 étant constitué de 24 patients et le groupe 2 de 13 patients, le groupe 2 se montre donc plus sensible aux facteurs externes et les résultats sont plus variables.

### 4. Difficultés rencontrées

Nous avons eu plusieurs abandons au fil des rendez-vous :

- Une personne à qui les réglages ont provoqué des acouphènes et qui a préféré qu'on lui remette les anciens réglages.
- Une personne qui a perdu un appareil puis a perdu son appareil de prêt.
- Trois personnes pour qui les tests étaient trop longs et fatigants.
- Une personne qui ne pouvait pas venir pour les deux autres rendez-vous.

Le fait de devoir se déplacer à trois reprises était un frein pour certains patients.

Pour chaque rendez-vous, nous demandions si les nouveaux réglages leur convenaient. Certains patients, malgré de meilleurs résultats aux questionnaires ne se rendaient pas forcément compte de la différence. Néanmoins, d'autres patients souhaitaient même d'autres modifications au deuxième rendez-vous mais cela n'était pas possible dans le cadre de l'étude.

## 5. La méthode de stéréo équilibrage

Dans nos trois centres respectifs, les audioprothésistes pratiquaient déjà en partie la méthode de stéréo équilibrage pour le réglage des aides auditives de leurs patients. Ceci peut alors expliquer pourquoi nous n'avons pas de résultats vraiment significatifs pour certains items. Il serait intéressant de tester la méthode de stéréo équilibrage pour le réglage des aides auditives de patients n'en ayant jamais bénéficié.

## CONCLUSION

L'objectif de notre étude était d'évaluer l'effet du stéréo-équilibre sur l'équilibre. Celui-ci a permis à certains de nos patients d'avoir une meilleure spatialisation des sons et une gêne liée à leurs troubles vestibulaires amoindrie. Le stéréo-équilibre est donc très important chez les personnes appareillées et présentant un handicap vestibulaire. Il serait judicieux d'intégrer les questionnaires dans le processus d'appareillage, notamment pour voir l'évolution de la gêne après le port des aides auditives et pour s'assurer que nous ne l'accentuons pas. Enfin, dans une étude future, il serait intéressant de se focaliser précisément sur les modifications de réglages qui entrent en jeu dans l'amélioration de l'équilibre.

# BIBLIOGRAPHIE

- Aurélien Broussal Derval : Découvrez comment progresser en équilibre (2023). Disponible sur : <https://www.broussal-derval.com/2021/09/21/progresser-en-equilibre/>
- CHAYS A. *Naissance, vie et mort de l'oreille*, Les monographies Amplifon, n°45, 2008, p.104
- CNEBMN, Séminaire de Biophysique du 7 novembre 2011- Acoustique physiologique)
- Cochlea : Localisation : Localisation dans le plan vertical. (2019) Disponible sur : <http://www.cochlea.eu/son/psychoacoustique/localisation>
- Crépin, M. (2022). L'intérêt de la vérification des niveaux maximum de confort pour une acuité auditive corrigée. (ISTR, Éd) Diplôme d'État d'Audioprothésiste.
- Dejean, F., Lurquin, P., 2015. Les Questionnaires : quand le ressenti et les émotions se mêlent aux mesures objectives... Cahiers de l'Audition, 28,
- Dodelé L. La mesure du seuil d'inconfort, Phonak Focus. Journal Of The American Audiology, 1992, 2 (3), pp. 79-82.
- FLETCHER, H. et MUNSON, W. A. (1933). Loudness, its definition, measurement and calculation. *The journal of the acoustical society of America*, 5(2) : 82–108.
- Gallego. S. (2020). Cours sur la dynamique auditive. 1<sup>ère</sup> année du Diplôme d'État d'Audioprothésiste. Lyon : ISTR Université Claude Bernard Lyon 1.
- Gallego. S. (2021). Réhabilitation auditive et équilibre postural. Cours de deuxième année du Diplôme d'État d'Audioprothésiste. Lyon : ISTR Université Claude Bernard Lyon 1.
- Gallego. S. (2021). Stéréo-équilibre. Cours de deuxième année du Diplôme d'État d'Audioprothésiste. Lyon : ISTR Université Claude Bernard Lyon 1.
- Gatehouse, S., & Noble, W. (2004). The Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scales. *International Journal of Audiology*, 43(2), 85-99.
- GEORRIC (Groupe d'Etude et d'Optimisation de la Rééducation et des Réglages de l'Implant Cochléaire). (2006). Démasquage binaural (ou squelch effect). *Sciences & techniques*, p.32
- Greco. J. (2020). Équilibre et posture. Cours de première année du Diplôme d'État d'Audioprothésiste. Lyon : ISTR Université Claude Bernard Lyon 1.
- Hearing Health and Technology Matters: Binaural Loudness Squelch (2015). Disponible sur: <https://hearinghealthmatters.org/waynesworld/2015/binaural-loudness-squelch/>
- Hirsch, I. J. (1948). Binaural summation - a century of investigation. *Psychological Bulletin*, 45(3), 193-206.

- Hirsch, I. J. (1948). The Influence of Interaural Phase on Interaural Summation and Inhibition. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 20, 536-544.
- Index Santé.ca : Le système auditif (2007-2023) Disponible sur : <https://www.indexsante.ca/chroniques/404/le-systeme-auditif.php>
- Jacquemard J, Costille M. Apport de la rééducation vestibulaire pour une prise en charge multisensorielle des troubles de l'équilibre. *Kinésithér Scient* 2008,493:21- 27.
- Kanegaonkar RG, Amin K, Clarke M. The contribution of hearing to normal balance. *J Laryngol Otol*. 2012;126(10):984–988.
- Licklider, J. C. (1948). The influence of interaural phase relations upon the masking of speech. *Journal of the Acoustical Society of America*, 20, 150-159.
- Lin FR, Ferrucci L. Hearing loss and falls among older adults in the United States. *Arch Intern Med*. 2012;172(4):369–371.
- MARKS, L. E. (1978). Binaural summation of the loudness of pure tones. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 64(1) : 107–113.
- MARKS, L. E. (1980). Binaural summation of loudness : Noise and two-tone complexes. *Perception & Psychophysics*, 27(6) : 489–498.
- Middlebrooks C et D. M. Green: Directional dependence of interaural envelope delays. *The journal of the Acoustical Society of America*, 87(5):2149-2162, 1990, doi: 10.1121/1.399183.
- Middlebrooks C et D. M. Green: Sound localization by human listeners. *Annual Review Of Psychology*, 42:135-159, 1991.
- Middlebrooks, J. C. Makous et D. M. Green: Directional sensitivity of sound-pressure levels in the human ear canal. *The Journal Of the Acoustical Society Of America*, 86(1):89-108, 1989.
- Moulin, A., Pauzie, A., & Richard, C. (2015). Validation of a French translation of the Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale (SSQ) and comparison with other language versions. *International journal of audiology*, 889-898.
- MOULIN A., VERGNE J., GALLEGO S., MICHEYL C. (2019). A New Speech, Spatial and qualities of Hearing Scale Short-Form : Factor, Cluster and Comparative Analyses, *Ear and Hearing*, vol 40, p.938-950
- Myers Anita M., ABC Scale and Instructions, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada (2022)
- Organisation mondiale de la santé (26 avril 2021). Les chutes : aide-mémoire N°344.
- Organisation mondiale de la santé (2023). Vieillesse.
- Rumalla, K., Karim, A. M., & Hullar, T. E. (2014). The Effect of Hearing Aids on Postural Stability. *The Laryngoscope*(125), 720-723.
- Santé Publique France (2020). Chute. Maladies et traumatismes/traumatismes/chutes

- Teasdale N, Simoneau M. (2001) Attentional demands for postural control: the effects of aging and sensory reintegration. *Gait Posture*. Dec ;14(3) :203-10.
- The Open Learn University: Hearing, 12.4 Interaural intensity differences (2022). Disponible sur: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/biology/hearing/content-section-12.4>
- University of Washington: Chapter 12: Sound Localization and the Auditory Scene (2022). Disponible sur: [https://courses.washington.edu/psy333/lecture\\_pdfs/Week9\\_Day2.pdf](https://courses.washington.edu/psy333/lecture_pdfs/Week9_Day2.pdf)
- Veillet, E. (2015-2016). Équilibre et posture. Cours de première année du Diplôme d'Etat d'Audioprothésiste. Lyon : ISTR Université Claude Bernard Lyon 1.
- Vitkovic J, Le C, Lee SL, Clark RA. The Contribution of Hearing and Hearing Loss to Balance Control. *Audiol Neurootol*. 2016;21(4):195–202.
- Viljanen, A., Kaprio, J., Pyykkö, I., Sorri, M., Pajala, S., Kauppinen, M., . . . Rantanen, T. (2009). Hearing as a Predictor of Falls and Postural Balance in Older Female Twins. *Journal of Gerontology*(64A), 312-317.

# ANNEXES

Échelle gauche/droite de la sonie :

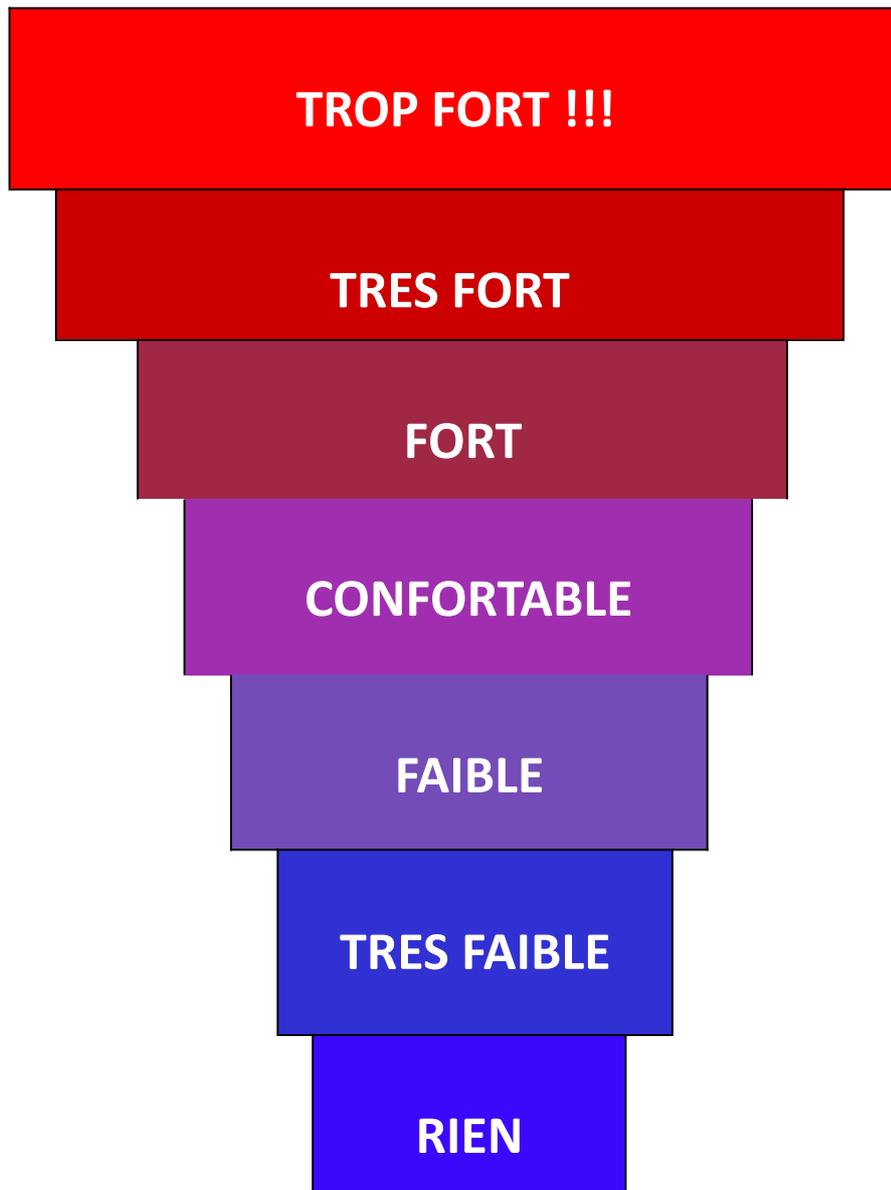


Dans quelle oreille le son vous semble t-il plus fort ?



Échelle catégorielle de la sonie :

ECHELLE DE SONIE



## Questionnaire DHI :

**Questionnaire patient  
sur le handicap lié aux  
troubles de l'équilibre  
et aux vertiges<sup>2</sup>**

Le score  
**DHI<sup>1</sup>**  
(Dizziness Handicap  
Inventory)

Nom : .....  
Prénom : .....  
Date : .....

	A	B	C
	Oui	Parfois	Non
1 Votre problème est-il aggravé lorsque vous regardez en l'air ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 A cause de votre problème, vous sentez-vous frustré(e) (réalisation de souhaits, de désirs) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 A cause de votre problème, vous déplacez-vous moins pour votre profession ou vos loisirs ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Votre problème est-il aggravé lorsque vous marchez dans les allées d'un supermarché ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 A cause de votre problème, avez-vous de la difficulté à vous mettre ou à sortir du lit ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Votre problème diminue-t-il de manière significative votre participation à des activités sociales (aller manger dehors, aller à des soirées ou au cinéma) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Votre problème vous gêne-t-il pour lire ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 Votre problème est-il aggravé lorsque vous réalisez des activités comme la pratique de sports, de la danse ou lors de tâches ménagères comme balayer ou ranger la vaisselle ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9 Avez-vous peur de quitter votre domicile sans être accompagné(e), à cause de votre problème ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 A cause de votre problème, vous êtes-vous senti(e) gêné(e) face à d'autres personnes ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11 Votre problème est-il augmenté par des mouvements rapides de la tête ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12 A cause de votre problème, évitez-vous les situations en hauteur (chaise, échelle, balcon) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13 Votre problème est-il aggravé lorsque vous vous retournez dans le lit ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14 A cause de votre problème, est-il difficile de réaliser des efforts intenses à la maison ou dans le jardin ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 A cause de votre problème, avez-vous peur que les gens puissent penser que vous êtes ivre ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16 A cause de votre problème, avez-vous peur de la difficulté à faire une promenade seul(e) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17 Votre problème est-il aggravé lorsque vous marchez le long d'un trottoir ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18 A cause de votre problème, avez-vous de la difficulté à vous concentrer ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19 La nuit à la maison, avez-vous de la difficulté à marcher sans lumière ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20 Avez-vous peur de rester seul(e) à la maison, à cause de votre problème ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21 A cause de votre problème, vous sentez-vous handicapé(e) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22 Votre problème est-il source de tensions dans les relations avec les membres de votre famille ou vos amis ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23 A cause de votre problème, vous sentez-vous déprimé(e) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24 Votre problème change-t-il vos responsabilités au travail ou dans votre vie familiale ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25 Vous pencher en avant aggrave-t-il votre problème ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A chaque niveau de réponse correspond un nombre de points :

**Réponse A : Oui = 4 points,**

**Réponse B : Parfois = 2 points,**

**Réponse C : Non = 0 point.**

La score total possible s'étend de 0 à 100 points. Entre deux évaluations, un écart supérieur à 18 points<sup>3</sup> est nécessaire pour être significatif d'une amélioration ou d'une détérioration de l'état clinique du patient.

Total des réponses A : x4 = .....

Total des réponses B : x2 = .....

Score Total A + B = .....

(1) Jacobson GJ, Newman CW. The development of the dizziness handicap inventory. Arch Otolaryngol Head Neck Surgery 1990; 116: 424-427

(2) Joffe C, Gayle W. Difficultés liées au vertige et au handicap vestibulaire. Otorhinolaryngol News 2000; 10: 20-24



S F K V

## Questionnaire SSQ15 :

SSQ-15

Date :

Sujet :

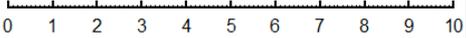
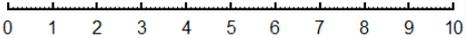
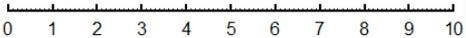
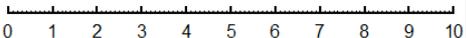
### Conseil pour répondre aux questions

Les questions suivantes concernent votre capacité et votre expérience en matière d'audition et d'écoute dans le cadre de situations diverses.

Marquez l'échelle située à droite de chacune des questions, par exemple à l'aide d'une croix (x), à l'endroit adéquat entre le 0 et le 10. Une marque apposée sur la valeur 10 signifie que vous êtes parfaitement capable de faire ou d'expérimenter ce qui est décrit dans la question correspondante. Une marque apposée sur le 0 indique que vous n'êtes pratiquement pas en mesure de faire ni d'expérimenter ce qui est décrit.

À titre d'exemple, la question 1 se rapporte à votre capacité de converser avec un interlocuteur alors que la télévision est allumée. Si vous êtes tout à fait capable de le faire, placez une marque sur l'extrémité droite de l'échelle. Si vous êtes capable de suivre environ la moitié de la conversation dans une telle situation, placez la marque vers le milieu de l'échelle et ainsi de suite.

Nous espérons que toutes les questions sont pertinentes au regard de votre vie quotidienne. Si ce n'est pas le cas pour certaines questions, veuillez cocher la case « non applicable » (n/a). Merci de bien vouloir expliquer en quelques mots à côté de la question la raison pour laquelle elle n'est pas pertinente dans votre cas.

1ère partie : Audition de la parole		n/a
1. Vous discutez avec une autre personne dans une pièce dans laquelle un téléviseur est allumé. Pouvez-vous suivre les propos de votre interlocuteur sans baisser le son du téléviseur ?	<p>pas du tout <span style="float: right;">parfaitement</span></p> 	
2. Vous êtes assis autour d'une table avec un groupe de cinq personnes environ, dans un restaurant animé. Vous pouvez voir toutes les personnes du groupe. Pouvez-vous suivre la conversation ?	<p>pas du tout <span style="float: right;">parfaitement</span></p> 	
3. Vous discutez avec une autre personne. Il y a un bruit de fond continu (ventilateur ou eau qui coule par exemple). Pouvez-vous suivre ce que dit l'autre personne ?	<p>pas du tout <span style="float: right;">parfaitement</span></p> 	
4. Vous êtes assis autour d'une table avec un groupe de cinq personnes environ, dans un restaurant animé. Vous NE pouvez PAS voir toutes les personnes du groupe. Pouvez-vous suivre la conversation ?	<p>pas du tout <span style="float: right;">parfaitement</span></p> 	
5. Vous discutez avec quelqu'un dans une pièce dans laquelle beaucoup d'autres personnes s'entretiennent. Pouvez-vous suivre ce que vous dit votre interlocuteur ?	<p>pas du tout <span style="float: right;">parfaitement</span></p> 	

2ème partie : Audition spatiale		n/a
1. Vous êtes assis autour d'une table ou participez à une réunion avec plusieurs personnes. Vous ne pouvez pas voir toutes les personnes. Pouvez-vous dire où se trouvent les différentes personnes dès qu'elles prennent la parole ?	<i>pas du tout</i> <span style="float: right;"><i>parfaitement</i></span> 	
2. Vous êtes à l'extérieur. Un chien aboie bruyamment. Pouvez-vous indiquer immédiatement où il se trouve, sans regarder ?	<i>pas du tout</i> <span style="float: right;"><i>parfaitement</i></span> 	
3. Vous êtes sur le trottoir d'une rue animée. Pouvez-vous entendre immédiatement de quelle direction un bus ou un camion arrive avant de l'avoir vu ?	<i>pas du tout</i> <span style="float: right;"><i>parfaitement</i></span> 	
4. Pouvez-vous indiquer dans quelle direction une personne se déplace, uniquement au son de sa voix ou de ses pas, par exemple de votre gauche à votre droite ou inversement ?	<i>pas du tout</i> <span style="float: right;"><i>parfaitement</i></span> 	
5. Avez-vous l'impression de pouvoir déterminer avec précision d'où proviennent les bruits que vous entendez ?	<i>pas du tout</i> <span style="float: right;"><i>parfaitement</i></span> 	

3ème partie : Qualité d'audition		n/a
1. Pouvez-vous reconnaître facilement les différentes personnes que vous connaissez au son de leur voix ?	<i>pas du tout</i> <span style="float: right;"><i>parfaitement</i></span> 	
2. Pouvez-vous distinguer facilement les différents morceaux de musique que vous connaissez ?	<i>pas du tout</i> <span style="float: right;"><i>parfaitement</i></span> 	
3. Pouvez-vous différencier certains bruits, par exemple une voiture par rapport à un bus ou de l'eau qui bout par rapport à la nourriture qui frit dans une poêle ?	<i>pas du tout</i> <span style="float: right;"><i>parfaitement</i></span> 	
4. Lorsque vous écoutez de la musique, est-ce qu'elle retentit de manière distincte et naturelle ?	<i>pas du tout</i> <span style="float: right;"><i>parfaitement</i></span> 	
5. Les bruits quotidiens que vous entendez facilement sont-ils distincts (non brouillés) ?	<i>pas du tout</i> <span style="float: right;"><i>parfaitement</i></span> 	

Questionnaire ABC Équilibre :

**Echelle ABC d'équilibre. (A. Myers)**

Pour chacune des activités décrites, indiquez votre niveau de confiance envers votre équilibre en choisissant une note sur l'échelle de 0 (je perds l'équilibre) à 10 (je suis sûr que je ne perdrai pas l'équilibre, que je resterai stable).

Jusqu'à quel point êtes-vous confiant(e), sûr(e) de garder votre équilibre lorsque vous faites les activités suivantes:

1. Vous marchez dans votre maison.	<p>Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p style="text-align: center;">                               </p> <p style="text-align: center;">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
2. Vous montez ou descendez les escaliers.	<p>Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p style="text-align: center;">                               </p> <p style="text-align: center;">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
3. Vous vous penchez pour ramasser un objet (par exemple une chaussure) sur le sol.	<p>Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p style="text-align: center;">                               </p> <p style="text-align: center;">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
4. Vous vous étirez pour prendre une petite boîte de conserve sur une étagère, à hauteur des yeux.	<p>Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p style="text-align: center;">                               </p> <p style="text-align: center;">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
5. Vous vous tenez sur la pointe des pieds pour aller chercher un objet, au-dessus de votre tête.	<p>Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p style="text-align: center;">                               </p> <p style="text-align: center;">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
6. Vous montez sur une chaise (ou un petit escabeau) pour aller chercher un objet.	<p>Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p style="text-align: center;">                               </p> <p style="text-align: center;">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
7. Vous balayez le sol.	<p>Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p style="text-align: center;">                               </p> <p style="text-align: center;">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>

**Jusqu'à quel point êtes-vous confiant(e), sûr(e) de garder votre équilibre lorsque vous faites les activités suivantes :**

8. Vous sortez de la maison pour aller vers une voiture stationnée près de l'entrée.	<p align="center">Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p align="center"> ----- </p> <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
9. Vous montez ou vous descendez de voiture.	<p align="center">Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p align="center"> ----- </p> <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
10. Vous traversez un grand parking (pour vous rendre au supermarché par exemple)	<p align="center">Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p align="center"> ----- </p> <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
11. Vous montez ou descendez un plan incliné (rampe d'accès)	<p align="center">Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p align="center"> ----- </p> <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
12. Vous marchez dans un centre commercial bondé de gens pressés qui marchent vite.	<p align="center">Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p align="center"> ----- </p> <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
13. Vous êtes bousculé(e) par des gens en marchant dans un centre commercial.	<p align="center">Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p align="center"> ----- </p> <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
14. Vous utilisez un escalier roulant (escalator) en tenant la rampe.	<p align="center">Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p align="center"> ----- </p> <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
15. Vous utilisez un escalier roulant (escalator) sans pouvoir tenir la rampe (parce que vous avez les bras chargés de paquets).	<p align="center">Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p align="center"> ----- </p> <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
16. Vous marchez dehors sur un terrain ou un trottoir glissant.	<p align="center">Pas sûr du tout, pas confiant <span style="float: right;">Parfaitement sûr et confiant</span></p> <p align="center"> ----- </p> <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>

*ABC Equilibre. V. française préliminaire. D'après A. Myers. 2/2*

Tableau regroupant les résultats du groupe 1 à l'ABC équilibre.

	RDV n°1	RDV n°2	RDV n°3	Delta RDV n°1/RDV n°2	Delta RDV n°2/RDV n°3	Delta RDV n°1/RDV n°3
Score ABC équilibre (sur 10 points)	$\mu = 8,62$ écart-type = 1,074	$\mu = 8,87$ écart-type = 0,778	$\mu = 9,01$ écart-type = 0,803	$\mu = 0,25$	$\mu = 0,14$	$\mu = 0,39$

Tableau regroupant les résultats du groupe 2 à l'ABC équilibre.

	RDV n°1	RDV n°2	RDV n°3	Delta RDV n°1/RDV n°2	Delta RDV n°2/RDV n°3	Delta RDV n°1/RDV n°3
Score ABC équilibre (sur 10 points)	$\mu = 8,91$ écart-type = 0,849	$\mu = 9,06$ écart-type = 0,957	$\mu = 8,9$ écart-type = 0,798	$\mu = 0,15$	$\mu = 0,07$	$\mu = 0,01$

Tableau regroupant les résultats du groupe 1 au SSQ15.

	RDV n°1	RDV n°2	RDV n°3	Delta RDV n°1/RDV n°2	Delta RDV n°2/RDV n°3	Delta RDV n°1/RDV n°3
Item audition de la parole (sur 10 points)	$\mu = 5,25$ écart-type = 1,958	$\mu = 5,71$ écart-type = 1,756	$\mu = 6,36$ écart-type = 1,786	$\mu = 0,46$ p-value* = 0,017 < 0,05	$\mu = 0,65$ p-value** = 0,006 < 0,01	$\mu = 1,11$
Item sur l'audition spatiale (sur 10 points)	$\mu = 5,82$ écart-type = 2,586	$\mu = 6,34$ écart-type = 1,991	$\mu = 6,76$ écart-type = 1,952	$\mu = 0,57$	$\mu = 0,42$ p-value* = 0,038 < 0,05	$\mu = 0,94$ p-value** = 0,009 < 0,01
Item sur la qualité de	$\mu = 8,44$	$\mu = 8,53$	$\mu = 8,46$	$\mu = 0,09$	$\mu = 0,07$	$\mu = 0,02$

l'audition (sur 10 points)	écart-type= 0,996	écart-type= 0,961	écart-type= 1,272	p-value = 0,726 > 0,05	p-value = 0,879 > 0,05	p-value = 0,627 > 0,05
SSQ15 total (sur 10 points)	$\mu= 6,51$ écart-type= 1,538	$\mu= 6,86$ écart-type= 1,366	$\mu= 7,19$ écart-type= 1,456	$\mu= 0,35$ p-value* = 0,022 < 0,05	$\mu= 0,33$ p-value* = 0,019 < 0,05	$\mu= 0,68$ p-value** = 0,006 < 0,01

Tableau regroupant les résultats du groupe 2 au SSQ15.

	RDV n°1	RDV n°2	RDV n°3	Delta RDV n°1/RDV n°2	Delta RDV n°2/RDV n°3	Delta RDV n°1/RDV n°3
Item audition de la parole (sur 10 points)	$\mu= 6,11$ écart-type= 2,615	$\mu= 6,84$ écart-type= 2,251	$\mu= 6,92$ écart-type= 1,933	$\mu= 0,73$	$\mu= 0,08$	$\mu= 0,81$
Item sur l'audition spatiale (sur 10 points)	$\mu= 7,16$ écart-type= 2,041	$\mu= 8,02$ écart-type= 1,746	$\mu= 7,79$ écart-type= 1,252	$\mu= 0,86$	$\mu= 0,23$	$\mu= 0,63$
Item sur la qualité de l'audition (sur 10 points)	$\mu= 8,58$ écart-type= 1,644	$\mu= 8,73$ écart-type= 1,858	$\mu= 8,69$ écart-type= 1,170	$\mu= 0,15$	$\mu= 0,04$	$\mu= 0,11$
SSQ15 total (sur 10 points)	$\mu= 7,28$ écart-type= 2,000	$\mu= 7,86$ écart-type= 1,851	$\mu= 7,80$ écart-type= 1,341	$\mu= 0,58$	$\mu= 0,06$	$\mu= 0,52$

Tableau regroupant les résultats du groupe 1 au DHI.

	RDV n°1	RDV n°2	RDV n°3	Delta RDV n°1/RDV n°2	Delta RDV n°2/RDV n°3	Delta RDV n°1/RDV n°3
Item émotionnel	$\mu= 2,92$ écart-type= 2,491	$\mu= 3,08$ écart-type= 1,821	$\mu= 2,08$ écart-type= 1,844	$\mu= 0,16$	$\mu= 1,00$	$\mu= 0,84$

Item fonctionnel	$\mu = 1,42$ écart-type = 0,883	$\mu = 1,92$ écart-type = 1,412	$\mu = 1,50$ écart-type = 0,782	$\mu = 0,5$	$\mu = 0,42$ p-value = 0,153 > 0,05	$\mu = 0,08$ p-value = 0,452 > 0,05
Item physique	$\mu = 5,25$ écart-type = 3,269	$\mu = 4,42$ écart-type = 2,437	$\mu = 4,00$ écart-type = 2,564	$\mu = 0,83$	$\mu = 0,42$	$\mu = 1,25$
DHI total	$\mu = 9,58$ écart-type = 5,905	$\mu = 9,42$ écart-type = 5,353	$\mu = 7,58$ écart-type = 6,078	$\mu = 0,16$	$\mu = 1,84$	$\mu = 2$

Tableau regroupant les résultats du groupe 2 au DHI.

	RDV n°1	RDV n°2	RDV n°3	Delta RDV n°1/RDV n°2	Delta RDV n°2/RDV n°3	Delta RDV n°1/RDV n°3
Item émotionnel	$\mu = 3,08$ écart-type = 2,139	$\mu = 2,31$ écart-type = 1,385	$\mu = 2,46$ écart-type = 1,479	$\mu = 0,77$	$\mu = 0,15$	$\mu = 0,62$
Item fonctionnel	$\mu = 2,15$ écart-type = 1,508	$\mu = 1,23$ écart-type = 0,586	$\mu = 0,77$ écart-type = 0,301	$\mu = 0,92$	$\mu = 0,46$	$\mu = 1,38$
Item physique	$\mu = 5,54$ écart-type = 3,280	$\mu = 3,38$ écart-type = 2,718	$\mu = 4,15$ écart-type = 2,444	$\mu = 2,16$	$\mu = 0,77$	$\mu = 1,39$
DHI total	$\mu = 10,77$ écart-type = 6,289	$\mu = 6,92$ écart-type = 4,613	$\mu = 7,38$ écart-type = 4,057	$\mu = 3,85$ p-value* = 0,012 < 0,05	$\mu = 0,46$	$\mu = 3,39$