

Université Claude Bernard



Lyon 1

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

---

**Directeur Professeur Jacques LUAUTE**

---

**EVALUATION D'UN TEST DE STEREO-EQUILIBRAGE SUR LES PERTES  
ASYMETRIQUES**

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

**DIPLOME D'ETAT  
D'AUDIOPROTHESISTE**

par

MALCOIFFE Lisa

Autorisation de reproduction

LYON, le 20/10/2023

**David COLIN**  
Responsable de l'Enseignement

N° 963



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 d'Odontologie  
Directeur  
**Pr. SEUX Dominique**

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

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

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

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

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

---



## 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)

Directeur

**M. PIGNAULT Gérard**

Observatoire astronomique de Lyon

Directeur

**Mme DANIEL Isabelle**

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, j'adresse tous mes remerciements et ma reconnaissance au Professeur Stéphane GALLEGO, mon maître de stage, pour ses conseils avisés, son accompagnement et son investissement indéfectible dans la réalisation de ce mémoire.

Je remercie également Mme Marie PASKO, la seconde audioprothésiste du centre, pour sa disponibilité permanente, son expertise et la confiance qu'elle m'a accordée pour prendre en charge ses patients.

Il m'est impossible d'oublier Fabien SELDRAN pour son aide précieuse lors de ma recherche bibliographique.

Toute ma gratitude revient aux patients pour le temps qu'ils m'ont accordé et leur implication inébranlable lors des multiples tests effectués. Sans eux, ce mémoire n'aurait pu aboutir.

Je tiens, tout particulièrement, à témoigner une vive reconnaissance à mes deux camarades, Marine DORRÉ et Maïssane NEDJMA pour ce projet que nous avons mené de concert jusqu'à son terme.

Un grand merci à Alexis REGAL, l'assistant du centre, et toute l'équipe d'Audition Conseil de Lyon 1<sup>er</sup>, pour leur bienveillance et leur soutien quotidien qui ont contribué à la réalisation et à l'aboutissement de cette étude.

Mes derniers remerciements vont à ma famille, mon compagnon et mes amis, qui ont tout fait pour m'aider, me soutenir et me supporter dans tout ce que j'ai entrepris.

## RÉSUMÉ

Actuellement, aucune méthode de réglage ne prévoit l'équilibrage gauche/droite de la sonie, en supraliminaire. C'est pourquoi, cette étude vise à évaluer l'efficacité d'un test de stéréo-équilibrage en supraliminaire et ses conséquences sur la localisation des sources sonores, la compréhension dans le bruit et l'équilibre postural chez les sujets souffrant d'une perte asymétrique.

Pour ce faire, 37 patients, dont 16 présentaient une perte dissymétrique et 21 une perte symétrique, ont été soumis, durant trois rendez-vous espacés de quinze jours, à plusieurs tests. Parmi ces derniers, se trouvent une mesure des seuils MCL (Maximum Comfortable Level) tonals et vocaux, un test de localisation, de compréhension dans le bruit et l'utilisation de trois questionnaires (échelle ABC équilibre, 15iSSQ et DHI) pour retranscrire et quantifier le ressenti des patients face aux réglages qui ont été réalisés. Au sein de ceux-ci, figurent un stéréo-équilibrage en supraliminaire (55 dB HL), un ajustement des MCL et des MPO.

Les résultats de cette étude affirment qu'un équilibrage de la sonie en supraliminaire permet une amélioration de l'intelligibilité en milieu bruyant, une localisation sonore des objets fixes et en mouvements plus précise, un équilibre postural plus important, car le handicap vestibulaire est réduit (diminution des scores au questionnaire DHI) ; tout en améliorant le bien-être émotionnel des patients atteints de perte auditive asymétrique. La mesure des MCL est également utile pour corriger les réglages qui pourraient entraîner des fréquences gênantes, bien que les résultats de cette étude ne montrent pas de changement significatif.

Par conséquent, l'intégration de ces techniques dans les pratiques courantes des audioprothésistes pourrait permettre une réhabilitation auditive plus complète et adaptée aux besoins des patients.

## GLOSSAIRE

- AA = Aide Auditive
- ABC Scale = Questionnaire sous forme d'échelle évaluant l'équilibre des patients dans leur quotidien
- ANOVA = "Analyse of Variance for Repeated Measures" (test statistique)
- CL = Champ Libre
- dB = Décibel
- DHI = Dizziness Handicap Inventory = Questionnaire sur le handicap lié aux vertiges et troubles de l'équilibre
- HL = "Hearing Level" = Niveau d'audition
- Hz = Hertz
- ILD = "Interaural Level Difference" = Différence interaurale d'intensité
- ITD = "Interaural Temporal difference" = Différence interaurale de temps
- MCL = "Maximum Comfortable Level" = Seuil Maximal de confort
- MPO = Maximum Power Output = Niveau maximal de sorti
- OD = Oreille Droite
- OG = Oreille Gauche
- PTA = Pure Tone Average = Perte Tonale Moyenne
- p-value = probabilité d'obtenir la même valeur
- RDV = Rendez-vous
- RSB = Rapport Signal sur Bruit
- SPL = "Sound Pressure Level" = Niveau de pression acoustique
- SSQ = "Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale" = Questionnaire d'écoute spatiale
- UCL = Uncomfortable Level = Seuil d'inconfort
- $\Delta$  = Delta = Différence
- $\mu$  = Moyenne
- $\sigma$  = Écart-type

# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS .....	2
RÉSUMÉ .....	2
<b>GLOSSAIRE</b> .....	<b>3</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>4</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>7</b>
<b>PARTIE I : ÉTUDE THÉORIQUE</b> .....	<b>9</b>
I. Avantages de l'audition binaurale .....	9
I.1. Localisation sonore.....	9
I.2. Effet d'ombre de la tête .....	10
I.3. Démasquage binaural .....	13
I.4. Stéréophonie .....	14
I.5. Redondance binaurale .....	16
II. Perte Asymétrique .....	17
II.1. Définitions d'une perte asymétrique.....	17
II.2. Conséquences de l'asymétrie.....	19
II.2.a. Perte de la stéréophonie .....	19
II.2.b. Localisation spatiale dégradée.....	20
II.2.c. Manque d'intelligibilité en milieu bruyant.....	21
II.2.d. Conséquences annexes et isolement social .....	22
II.2.e. Déficit de stimulation .....	23
III. Appréciation des sons supraliminaires et leur stéréo-équilibre .....	25
III.1. Dynamique auditive résiduelle .....	25
III.2. Satisfaction des utilisateurs d'aides auditives .....	28
III.3. Méthodes de réglages supraliminaires .....	29
III.3.a. Méthodes de détermination directe et indirecte de la cible .....	29
III.3.b. MTD .....	29
III.3.c. MCL .....	30
III.3.d. Détermination du niveau limite du champ auditif conversationnel.....	31
III.4. Stéréo-équilibre des aides auditives .....	34
III.4.a. Épreuves de localisation sonore spatiale .....	34
III.4.b. Épreuves de discrimination spatiale.....	35
III.4.c. Épreuves de mesure multidirectionnelle du gain prothétique .....	36
III.4.d. Contrôle de la réhabilitation de l'audition binaurale par l'appareillage stéréophonique .....	37
IV. Questionnaires quantifiant le ressenti des patients .....	39
IV.1. SSQ .....	39

IV.2. 15iSSQ .....	40
IV.3. DHI .....	41
IV.4. ABC Scale.....	42
<b>PARTIE II : ÉTUDE EMPIRIQUE .....</b>	<b>44</b>
I. Matériel et Méthode .....	44
I.1. Sujets étudiés.....	44
I.2. Matériel .....	47
I.3. Procédure.....	48
<b>PARTIE III : RÉSULTATS .....</b>	<b>55</b>
I. Test-retest.....	57
I.1. Définition du Test-retest.....	57
I.2. Test-retest sur l'ensemble des sujets.....	57
II. Comparaison des résultats avant et après réglages .....	58
II.1. Test des MCL tonals.....	58
II.2. Test des MCL vocaux.....	59
II.3. Test de localisation.....	60
II.4. Test d'équilibre de sonie.....	61
II.5. Tests dichotiques et dichotiques inversés.....	63
II.5.a. Somme des tests dichotiques et dichotiques inversés.....	63
II.5.b. Écart entre les tests dichotiques et dichotiques inversés.....	65
II.6. 15iSSQ.....	66
II.7. DHI.....	69
II.8. Échelle ABC d'équilibre .....	71
III. Comparaison des résultats avant et après réglages avec mutualisation de l'étude de l'an passé .....	73
III.1. Population d'étude.....	73
III.2. Tests dichotiques et dichotiques inversés sur les sujets souffrant d'asymétrie de l'audition.....	74
III.3. 15iSSQ sur les sujets souffrant d'asymétrie de l'audition.....	75
III.4. DHI sur les sujets souffrant d'asymétrie de l'audition.....	76
<b>PARTIE IV : DISCUSSION.....</b>	<b>78</b>
I.1. Test-retest .....	78
I.2. Réduction de l'écart entre les deux oreilles .....	78
I.3. Équilibre postural.....	79
I.4. MCL .....	81
I.5. Localisation sonore.....	82
I.6. Amélioration de l'intelligibilité en milieu bruyant.....	83
I.7. Abandons et difficultés rencontrées.....	84



<b>CONCLUSION .....</b>	<b>86</b>
<b>LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX.....</b>	<b>87</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>89</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>93</b>
1. Questionnaires utilisés.....	93
1.a. Échelle ABC d'équilibre .....	93
1.b. 15iSSQ.....	95
1.c. DHI.....	97
2. Échelle de mesure de sonie.....	98
3. Échelle visuelle analogique.....	98
3.a. Mesure de l'effort d'écoute .....	98
3.b. Mesure du degré de latéralisation.....	98
4. Listes dissyllabiques de FOURNIER.....	99
5. Listes cochléaires de LAFON.....	99
6. Résultats des tests de Wilcoxon lors du test-retest .....	100
7. Score sur l'item Audition de la parole, Audition Spatiale et total au 15iSSQ (Tous les sujets).....	101
8. Score total et sur l'item émotionnel au DHI (Tous les sujets) .....	102
9. Résultats lors de la mutualisation des deux études.....	102

## INTRODUCTION

« L'équilibrage se réalise à un niveau supraliminaire et non pas, [...] aux niveaux des seuils prothétiques comme certains audioprothésistes mal informés le faisaient et le font peut-être encore. » [1] Cette affirmation peut vous sembler très tranchée. Cependant, actuellement, aucune méthode de réglage ne prévoit l'équilibrage gauche/droite de la sonie, en supraliminaire.

De plus, seuls 37,6 % des audioprothésistes déclarent pratiquer « presque toujours » un test de stéréo-équilibrage et seulement 45 % réalisent des mesures supraliminaires. [2]

En effet, pour vérifier leurs réglages, la plupart des audioprothésistes utilisent des seuils liminaires. Ainsi, ils ne vérifient que très rarement les seuils d'inconforts, avec appareils. Par conséquent, ils n'ont aucun renseignement sur la manière qu'a le patient d'appréhender les sons moyens et forts. N'a-t-on jamais entendu une personne appareillée s'exclamer « C'est trop fort ! Je ne comprends pas quand il y a du bruit ! »

Selon Decroix et Dehaussy, la restauration de la fonction binaurale est indispensable pour discriminer de la parole en milieu bruyant et pour localiser concrètement l'origine d'un son. [3][4] Cependant, la compréhension de la parole dans le bruit, la localisation, et même la qualité de vie sont considérablement détériorées chez les sujets atteints de pertes auditives asymétriques. [5][6] Ainsi, réhabiliter les fonctions binaurales par l'intermédiaire d'un bon équilibre interaural paraît être un facteur important de confort et de performances.

Pourtant, dans la majorité des cas, les mesures sont effectuées en champ libre, à des seuils liminaires et surtout oreilles séparées. Pourquoi réaliser ces tests oreilles séparées ? Les aides auditives, ne communiquent-elles pas entre elles ?

Et n'appliquent-elles pas leurs algorithmes avec un traitement binaural de l'information ? De plus, le système auditif ne fonctionne-t-il pas lui aussi de manière binaurale ?

De ce fait, la réalisation de tests supraliminaire en binaural telles que les mesures des seuils maximaux de confort et la réalisation d'un stéréo-équilibre en champ libre avec deux appareils semblent essentiels chez les personnes présentant une surdité asymétrique. Assurément, ces tests pourraient permettre un réglage plus près de l'environnement sonore du patient. C'est-à-dire une adaptation plus confortable, mais aussi plus performante, notamment en milieu bruyant.

C'est pourquoi, cette étude a pour objectif de vérifier l'efficacité de l'équilibre de la sonie en supraliminaire et donc d'évaluer les conséquences sur la localisation des sources sonores et la compréhension dans le bruit chez les sujets souffrant d'une perte asymétrique.

Ainsi, dans une première partie, la définition d'une perte asymétrique et ses conséquences seront rappelées. Puis, les avantages d'un stéréo-équilibre en supraliminaire et de l'audition binaurale, notamment lors du processus de localisation, seront exposés. Pour finir, le détail des questionnaires évaluant le ressenti des patients sera explicité.

Dans une deuxième partie figureront le matériel et les méthodes mis en œuvre pour mener à bien cette étude. Pour finir, les résultats de cette dernière seront analysés et expliqués.

# PARTIE I : ÉTUDE THÉORIQUE

## I. Avantages de l'audition binaurale

Selon Beraha et al, l'audition binaurale est la capacité de percevoir des sons provenant d'une ou plusieurs sources sonores à travers les deux oreilles. Après un traitement cérébral de l'information, l'audition binaurale permet une meilleure qualité d'écoute et de compréhension de la parole dans un environnement bruyant, ainsi qu'une plus grande aptitude à localiser les sons dans l'espace. [7]

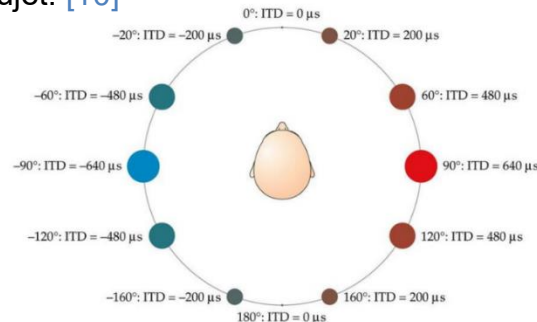
### I.1. Localisation sonore

Cette capacité de localisation est basée sur l'utilisation des différences interaurales de temps (ITD), d'intensité (ILD) et de phase entre les deux oreilles. Pour localiser une source sonore, il est nécessaire de déterminer sa direction, c'est-à-dire son azimuth dans le plan horizontal et sa hauteur dans le plan médian, ainsi que la distance entre la source sonore et l'auditeur. [8] Pour profiter au mieux des avantages de l'audition binaurale, l'auditeur tourne la tête vers la source sonore.

L'audition binaurale permet de déterminer la direction d'une source sonore en comparant les signaux reçus par chaque oreille. Ainsi, l'utilisation des deux oreilles est essentielle pour localiser correctement une source sonore. [4]

Selon Feddersen et al, l'ITD est reliée à l'angle d'azimut de la source. Lorsqu'une source sonore est en face ( $0^\circ$ ) ou dos ( $180^\circ$ ) à l'auditeur, les deux oreilles reçoivent le son en même temps, avec la même intensité et en phase. Ainsi, l'ITD = 0  $\mu$ s et ILD = 0 dB. [9]

Cependant, lorsque la source sonore est décalée par rapport à l'axe de symétrie de la tête, les distances entre les oreilles et la source deviennent inégales. Ainsi, l'oreille la plus proche de la source sonore reçoit le signal sonore plus tôt que l'oreille controlatérale. C'est pourquoi, l'ITD varie, elle dépend de l'angle entre la source sonore et l'oreille du sujet. [10]



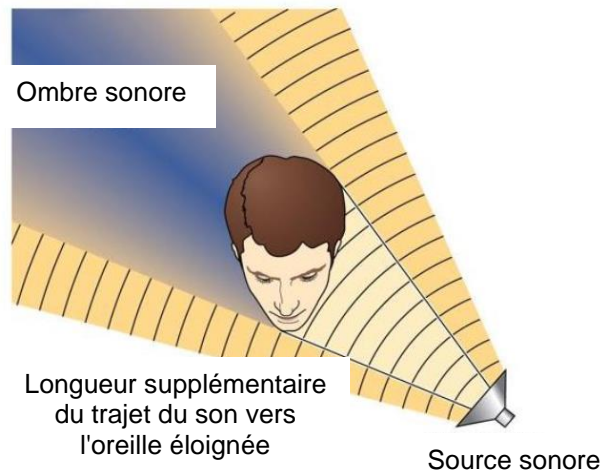
*Figure 1: Représentation des ITD en fonction de différents angles de provenance de la source. [11]*

Ce schéma démontre bien que l'ITD est maximale à 90° avec une valeur d'environ 0,6 ms. Cette valeur correspond à une différence de distance d'environ 19 cm, c'est approximativement la distance qui sépare les deux oreilles.

De plus, lorsque la source sonore s'éloigne de l'axe de symétrie de la tête, les distances entre les deux oreilles et la source deviennent inégales, et l'une des oreilles est "cachée" par la tête, il s'agit de l'effet d'ombre de la tête.

## 1.2. Effet d'ombre de la tête

L'effet d'ombre de la tête peut être considéré comme un avantage binaural dans certaines situations. Assurément, la tête représente un obstacle à l'onde sonore. De plus, la tête diffracte l'onde sonore selon sa fréquence. Les ondes sonores de fréquences aiguës qui ont des longueurs d'onde plus courtes que la taille de l'obstacle (c'est-à-dire la tête) subissent une diffraction. C'est pourquoi ces ondes mettent plus de temps à atteindre l'oreille opposée et sont plus atténuées. Ce sont ces différences qui permettent au cerveau de déterminer la position de la source sonore. [3] [4]



*Figure 2 : Représentation de l'effet d'ombre de la tête. [11]*



*Figure 3 : Représentation de l'effet d'ombre de la tête pour des fréquences aiguës à gauche et pour des basses fréquences à droite. [11]*

De plus, la littérature indique que :

- Les sources sonores inférieures à 1 500 Hz ne subissent pas d'effet de diffraction, car leur longueur d'onde est supérieure à la dimension interaurale. Cependant, un décalage temporel (ITD) subsiste entre les deux informations perçues par chaque oreille. C'est ce qui permet à l'auditeur de déterminer la position de la source sonore. [9] [12]
- Pour les sons ayant des fréquences comprises entre 1 500 Hz et 3 000 Hz, l'auditeur utilise les ITD et ILD pour localiser la source sonore. [13] C'est également à ces fréquences que le sujet réalise le plus d'erreurs de localisation. Ces dernières varient entre  $-5^\circ$  et  $-14^\circ$  d'azimut. [9]

- Pour des sources sonores ayant des fréquences supérieures à 3 000 Hz, l'onde sonore est diffractée par la tête. Ainsi, ce sont les ILD qui renseignent l'auditeur sur l'angle de provenance de la source. [9] [12] De plus, l'effet provoqué par l'ombre de la tête sur les hautes fréquences peut atteindre plusieurs dizaines de décibels de différence entre les deux oreilles. Dans un cas extrême, plus précisément quand la source est dans le conduit auditif, l'ILD atteint 40 à 60 dB. [14]

En résumé, l'auditeur utilise uniquement les ITD à basse fréquence et les ILD à haute fréquence pour localiser la source sonore. Pour les fréquences médiums (comprises entre 1 500 et 3 000 Hz) le jugement de localisation utilisé par le sujet prend en compte les ITD et les ILD.

La diffraction de l'onde sonore par la tête peut avoir des avantages en termes de rapport signal/bruit (RSB) entre les deux oreilles. Lorsque les sources de parole et de bruit sont spatialement différentes, l'oreille éloignée du bruit reçoit un signal de parole plus fort, tandis que l'oreille proche de la source de bruit reçoit un signal plus faible.

Il peut alors y avoir une différence de 15 dB ou plus de RSB entre les deux oreilles selon les fréquences. [10] Cependant, cet effet est négligeable lorsque les sources de parole et de bruit sont confondues. De plus, les sujets présentant des pertes auditives unilatérales sont désavantagés lorsque le signal de parole provient du côté déficient, surtout en présence d'un bruit de fond.

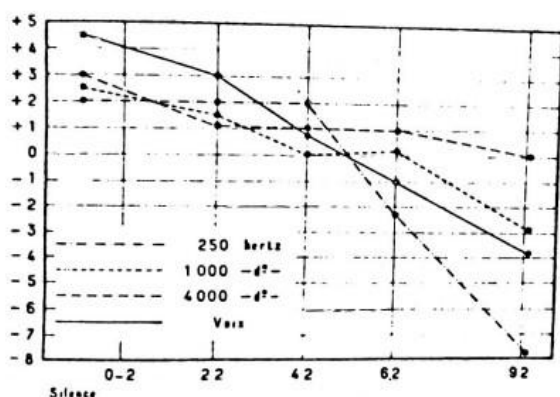
Néanmoins, là encore, la réhabilitation de l'audition binaurale permet une meilleure compréhension dans des environnements bruyants. Pour ce faire, le démasquage binaural entre en jeu.

### I.3. Démasquage binaural

La capacité à détecter des signaux dans le bruit est affectée par le décalage temporel et les positions spatiales des sources de signal et de bruit. Les travaux de Langmuir et Hirsh pour les sons purs et Licklider pour la parole ont montré que la comparaison des stimuli reçus par les deux oreilles peut améliorer considérablement l'intelligibilité des signaux de parole mélangés à du bruit. Le concept de démasquage binaural a été développé à partir de ces recherches. [15] [16]

Le démasquage binaural est exprimé en dB et correspond à la différence entre le seuil d'audibilité d'un signal masqué lors d'une écoute monaurale et lors d'une écoute binaurale.

Les travaux de Hirsh permettent d'illustrer ces propos : [17]



*Figure 4 : Graphique représentant l'évolution de la différence en dB entre les seuils masqués monauraux et binauraux de la voix en fonction du niveau de sensation du bruit masquant.*

Une analyse graphique permet de constater que :

- Pour un bruit de faible intensité, le seuil de détection binaurculaire est inférieur de 3 à 4 dB par rapport au seuil de détection monaurculaire. Cette même différence s'observe dans un environnement silencieux.
- Quand l'intensité du bruit masquant augmente, la différence en dB entre le seuil monaurculaire et binaurculaire tend vers 0.
- Cependant, lorsque le bruit est supérieur à 50 dB, la capacité à entendre avec les deux oreilles est moins performante qu'avec qu'une seule oreille. Il s'agit de l'inhibition interaurculaire.



L'inhibition interauriculaire ne s'applique qu'aux situations où le bruit et la source de parole proviennent de la même source. Si les sources sont différentes, les sons et le bruit sont émis à des endroits distincts et le seuil binauriculaire est inférieur de 3 à 4 dB par rapport au seuil monauriculaire. [17]

Pourtant, Licklider et Hirsh ont démontré que le seuil d'intelligibilité vocal est meilleur lorsque les sources sont disparates. [15] [16]

Ainsi, pour des sources de voix et de bruit séparées spatialement, l'écoute binaurale a un pourcentage d'intelligibilité supérieur de 10 à 25 % par rapport à une écoute monaurale, selon Decroix et Dehaussy. [4]

En effet, une seule oreille rend plus difficile de comprendre la parole en présence de bruit, car il y a une « augmentation de l'effet de masque de bruit sur la parole ». De plus, le sujet, avec une seule oreille, a plus de mal à se focaliser sur le message de parole. [4]

C'est pourquoi, en rétablissant une écoute binaurale équilibrée, il est de nouveau possible de localiser et dissocier les sources de voix et de bruit. Ceci améliore considérablement la compréhension lors de conversations de groupe par exemple. [4]

Ainsi, l'écoute binaurale et la localisation jouent un rôle capital dans la discrimination de la parole dans le bruit. Cependant, pour recréer une écoute binaurale équilibrée, il est nécessaire de rétablir la stéréophonie.

#### I.4. Stéréophonie

La stéréophonie peut être définie comme la capacité à percevoir des sons provenant de différentes positions dans l'espace en utilisant les deux oreilles. De plus, il est impossible d'avoir un effet stéréophonique sans la fonction binaurale. [7]

Cependant, il ne faut pas confondre l'audition binaurale avec la fonction binaurale. En effet, l'audition binaurale correspond à l'utilisation simultanée des deux oreilles pour entendre. Néanmoins, cette dernière n'implique pas nécessairement la fonction binaurale. En effet, celle-ci comprend : « l'indépendance fonctionnelle des deux oreilles », la capacité à capter les sons au niveau de chaque oreille et « la liberté de mouvement de la tête ». [18]

Ainsi, pour que l'auditeur perçoive la position des sources sonores dans l'espace, c'est-à-dire la stéréophonie, il est nécessaire de rétablir l'audition binaurale et les fonctions binaurales.

Pour réhabiliter ces dernières, selon le précis d'audioprothèse, les audioprothésistes doivent respecter quatre critères :

- « Reconstituer une audition binaurale aussi symétrique que possible pour toute la bande de fréquence conversationnelle
- Respecter l'indépendance fonctionnelle des deux oreilles
- Capter le son au niveau de l'oreille stimulée
- Permettre les variations inter-auriculaires normales d'intensité, de phase et de temps résultant des mouvements de la tête. » [18]

De plus, l'indépendance anatomique et fonctionnelle des deux oreilles permet de percevoir la profondeur du son. En effet, le traitement binaural de l'information est un processus complexe où l'olive supérieure compare et associe les informations encodées par les deux cochlées en utilisant des caractéristiques telles que l'intensité, la fréquence et la phase pour créer un paysage sonore en 3D de la stimulation auditive.

[10]

Ainsi, l'appareillage stéréophonique, pour les personnes malentendantes, a pour but de reproduire une expérience d'écoute la plus proche possible de celle d'une personne ayant une audition normale. [18]

De plus, le rétablissement de l'audition binaurale et de ses fonctions permet au malentendant la réhabilitation de la sommation binaurale d'intensité.

### I.5. Redondance binaurale

Un cas particulier de la redondance binaurale est la sommation binaurale d'intensité. Cette dernière peut être définie comme l'intégration par les centres cérébraux des différents potentiels d'action délivrés par chaque oreille.

La sensation d'intensité sonore peut être schématiquement définie comme le nombre de potentiels d'action intégré par les centres cérébraux. Plus le nombre de potentiels d'action est important, plus la sensation d'intensité sonore est importante.

Selon Fletcher et Munson, chez un sujet normo-entendant, lorsque le son est en face de lui et qu'il utilise ses deux oreilles, la sensation sonore est doublée par rapport à l'utilisation d'une seule oreille. [19]

Cette analyse est confirmée par Chavasse qui indique que chez un sujet normo-entendant, dans le silence, l'écoute binaurale est 3 dB supérieure à l'écoute monaurale. Ainsi, au niveau liminaire, utiliser les deux oreilles au lieu d'une permet d'entendre deux fois plus fort. Mathématiquement, on retrouve ce résultat, car  $3 = 10 \log(2)$ . [20]

De plus, au niveau supraliminaire, c'est-à-dire environ 30 dB supérieur au seuil de détection, pour atteindre le même niveau de sonorité avec une seule oreille, il est nécessaire d'augmenter le volume sonore de 10 dB par rapport à l'utilisation des deux oreilles. [19]

Cependant, pour Chavasse, c'est à des niveaux de sonie supérieurs à 35 dB que le son présenté à une oreille doit être augmenté de 6 dB (et non 10 dB comme l'affirment Fletcher et Munson) pour avoir une sensation d'intensité égale au niveau des deux oreilles. [20]

Bien que les avantages de l'audition binaurale ne soient pas identiques chez Chavasse ou Fletcher et Mudson, les trois protagonistes confirment qu'utiliser les deux oreilles permet d'entendre plus fort.

En outre, lorsque les informations sont présentées simultanément à chaque oreille, le traitement de l'information par le cerveau est plus sensible aux petites différences entre les deux oreilles qu'en cas de présentation unilatérale. [10]

La redondance du signal et par conséquent la présentation bilatérale renforce la perception de petites variations d'intensité et de fréquence. Ce phénomène permet une meilleure compréhension de la parole en milieu bruyant. [10]

Cependant, pour les personnes atteintes de pertes auditives asymétriques, la redondance du signal est impossible, car la présentation bilatérale est erronée par l'oreille la plus déficiente. Il est donc important de définir la perte asymétrique et ses conséquences pour comprendre l'enjeu de l'appareil stéréophonique.

## II. Perte Asymétrique

### II.1. Définitions d'une perte asymétrique

À partir de quand qualifiez-vous une perte d'« asymétrique » ? 10-15-20 dB d'écart moyen entre les deux oreilles ? Mais alors, que signifie « Écart moyen » ?

De multiples définitions sont données pour caractériser une perte asymétrique.

En voici quelques exemples :

Selon Noble et Gatehouse, un sujet présente une surdité dite « asymétrique » si la perte tonale moyenne (PTA) entre ses deux oreilles est supérieure à 10 dB HL.

[21] La PTA est la moyenne de la perte auditive sur les fréquences 0.5 ; 1 ; 2 et 4 kHz.

D'autres études se concentrent uniquement sur les fréquences médiums et aiguës. Ainsi, la surdité asymétrique a été définie comme une différence d'au moins 20 dB HL entre les deux oreilles sur les fréquences du 3 ; 4 et 6 kHz. [22]

Cet écart d'au moins 20 dB HL a été repris par Merluzzi en 1999 et en 2003. Cependant, il précise que l'« asymétrie des voies » correspond à un écart de 20 à 30 dB entre les seuils auditifs des deux oreilles, mais « relativement à une fréquence donnée » contrairement à l'étude précédente. [23] [24]

Pour Sabini et Sclafani, deux critères peuvent caractériser la perte auditive neurosensorielle asymétrique. En effet, selon ces derniers, l'asymétrie correspond à une différence binaurale strictement supérieure à 10 dB dans les seuils de conduction osseuse à deux fréquences consécutives. Mais aussi à une différence binaurale strictement supérieure à 15 dB sur une fréquence comprise entre 250 et 8 000 Hz. [25]

15 dB de différence entre les deux oreilles ! Voilà un nombre qui revient dans l'étude de Colin, Girod et Gallego en 2012. Selon eux, les surdités asymétriques sont particularisées par une différence considérable entre les deux oreilles d'un individu. C'est pourquoi, la perte auditive est jugée « asymétrique » lorsque la différence entre le seuil de la bonne oreille et celui de la plus mauvaise est supérieur à 15 dB. [26]

C'est cette définition qui sera utilisée pour notre étude. Ainsi, dans la suite de ce mémoire, une perte a été qualifiée d'« asymétrique », si l'écart entre la perte tonale moyenne de la meilleure oreille et celle de la plus déficitaire était supérieur ou égal à 15 dB.

N'oublions pas que 3 dB correspond à un doublement de la sensation sonore. Alors, imaginez une différence de 15 dB entre vos deux oreilles. Une telle asymétrie ne peut avoir que des conséquences inconcevables sur le quotidien.

## II.2. Conséquences de l'asymétrie

Une dissymétrie de l'audition induit la perte des bénéfices dus à l'audition binaurale telle que : la stéréophonie, l'intelligibilité en milieu bruyant, la localisation spatiale, ...

### II.2.a. Perte de la stéréophonie

Les sujets présentant une surdité asymétrique sont privés de la stéréophonie. C'est-à-dire qu'ils ont l'impression que le son est moins naturel, car ce dernier est perçu avec moins de relief. [27]

Assurément, le cerveau a besoin de nombreux indices pour reconstituer et déterminer les caractéristiques d'un environnement sonore (distance de la source; hauteur, intensité, matière réverbérant le son; ...). Cependant, lors d'une dissymétrie de l'audition, l'information encodée et délivrée par les deux cochlées est divergente. Concrètement, la moins bonne oreille dont la cochlée est plus endommagée aura une sortie différente de la meilleure oreille. C'est pourquoi, la comparaison et l'association des caractéristiques fréquentielle, de phase et d'intensité peuvent devenir difficiles, voire impossible, pour les sujets présentant une perte asymétrique. Cependant, ce sont ces trois caractéristiques qui permettent de créer un « paysage 3D » de la stimulation sonore. [10]

Étant donné que c'est un apport déséquilibré provenant des deux oreilles qui arrive au tronc cérébral, le responsable du traitement binaural de l'information, il paraît clair que les sujets atteints de perte asymétrique sont dans l'incapacité de reconstruire l'environnement sonore qui les entoure, ils sont donc privés de stéréophonie.

## II.2.b. Localisation spatiale dégradée

Comme vu précédemment, la comparaison des informations provenant des deux oreilles par le cerveau, aussi appelée stéréophonie, donne une impression de relief au stimulus sonore. C'est-à-dire une profondeur, une verticalité et une horizontalité. Ainsi, la stéréophonie est la capacité à localiser un stimulus sonore dans un espace tridimensionnel. [10] Mais étant donné que la stéréophonie est dégradée chez les sujets présentant une perte asymétrique, la localisation l'est elle aussi. Assurément, une dissymétrie de l'audition s'accompagne d'ITD et d'ILD supérieures à la normale pour déterminer l'azimut d'une source sonore. [28]

De plus, la localisation auditive a ses propres limites. En effet, le système auditif est dans l'incapacité d'identifier des sources sonores séparées par un angle trop petit. Celui-ci est nommé l'angle audible minimum (Minimum Audible Angle, MAA). Il représente la plus petite différence détectable entre les azimuts de deux sources sonores identiques, mais non simultanées. Sa valeur dépend de la fréquence et de la direction de l'arrivée de l'onde sonore. Pour un normo-entendant, le MAA est d'environ 1-2° pour la position frontale (azimut de 0°), de 8-10° à 90° (source sur le côté) et de 6-7° à l'arrière. Ainsi, les variations de MAA appréciées par un normo-entendant varient entre 1 et 10° selon l'angle de la source. Cependant, pour les sujets atteints de dissymétrie de l'audition, les MAA sont élargis et varient entre 10 et 40° en moyenne. [29]

Pour résumer, l'altération des indices binauraux, de la stéréophonie et de l'angle audible minimum sont à l'origine d'une localisation auditive insatisfaisante chez les sujets présentant une perte asymétrique. De plus, selon Avan et al., la personne malentendante doit être capable de localiser chacun de ces interlocuteurs, pour exploiter et donc comprendre un signal de parole en présence d'un bruit de fond. [10]

### II.2.c. Manque d'intelligibilité en milieu bruyant

Pour les personnes ayant des problèmes d'audition, les environnements bruyants peuvent rendre difficile, voire impossible, la compréhension de la parole. Cette affirmation est d'autant plus notable chez les sujets présentant une perte asymétrique, du fait de l'absence de stéréophonie.

En effet, ces derniers ont des indices acoustiques (différences interaurales de temps et d'intensité) altérés. C'est pourquoi, les sujets présentant une dissymétrie sont dans l'incapacité de localiser une source sonore dans un espace perturbé, ce qui peut affecter leur capacité à différencier le message (parole) du bruit de fond.

Deux études de Martin V. et Lina-Grenade G & al. précisent que les difficultés de compréhension augmentent lorsque l'information sonore provient du côté le plus touché par une perte auditive. [27] [30] Martin V explique ce phénomène par l'atténuation des fréquences aiguës par le masque de la tête. [27]

Cette idée est également développée par Avan P. Ce dernier affirme que la stéréophonie est donc la localisation d'un stimulus sonore nécessite que le cerveau réalise deux tâches : Analyser et Comparer les potentiels d'action des deux oreilles au niveau du nerf auditif en réponse à un stimulus sonore. Cependant, il ajoute que ces tâches dépendent de la fréquence du son, car l'effet d'ombre de la tête est quasi inexistant pour les basses fréquences (diffractées par la tête). Tandis que les fréquences aiguës sont très affectées par le masque de la tête.

De plus, il précise que les différences de synchronisation des potentiels d'action sont moins bien codées pour les fréquences aiguës que pour les fréquences graves, car les neurones auditifs peuvent coder l'enveloppe des stimuli à haute fréquence, mais qu'ils sont dans l'incapacité de coder leurs structures fines. [10]



Ainsi, pour les personnes atteintes de perte asymétrique, la capacité de localisation et de compréhension dans le bruit est détériorée. C'est pourquoi, l'utilisation monaurale de leur audition crée un handicap social et professionnel majeur. [10]

#### II.2.d. Conséquences annexes et isolement social

Selon Vannson et al. plus la perte auditive est asymétrique, plus la capacité à extraire la parole dans un environnement bruyant et la qualité de vie sont altérées. [6]

Ainsi, les sujets présentant une dissymétrie de l'audition peuvent rencontrer de multiples problèmes émotionnels et sociaux, que ce soit dans leur vie sociale ou professionnelle. [31]

Pour confirmer le fait qu'une perte asymétrique affecte le « bien-être émotionnel, physique ou social ainsi que la capacité d'accomplir des tâches de la vie quotidienne ». Vannson et al. ont établi que le score au questionnaire SSQ (Speech, Spatial and Qualities of hearing scale) des personnes atteintes de dissymétrie de l'audition était significativement inférieur à la normale. [5]

Martin V. ajoute que c'est le manque d'intelligibilité en milieu bruyant qui provoque l'isolement croissant du déficient auditif. [27]

Ce dernier met également en évidence les répercussions dues à une perte d'audition asymétrique. Étant donné qu'une oreille est beaucoup plus affaiblie que l'autre, le patient compense son asymétrie en tournant la tête vers la source sonore dans la majeure partie des situations. Ainsi, ces ajustements répétés provoquent des problèmes de posture ou encore d'équilibre. [27]

Ces difficultés ont des répercussions physiologiques, comme la réorganisation des voies auditives centrales, ainsi que des conséquences psychologiques telles que le stress, la frustration et la fatigue. Ainsi, ces effets peuvent affaiblir la personne atteinte de perte auditive asymétrique et la conduire à l'isolement social. [27]

Cependant, l'isolement social conduit à un repli sur soi, c'est-à-dire que les sujets atteints de pertes auditives asymétriques vont mettre en place des stratégies pour se soustraire des situations complexes et bruyantes. Mais toutes ces tactiques sont néfastes, car elles entraînent un déficit de stimulation.

### II.2.e. Déficit de stimulation

Une absence de correction de la perte auditive peut entraîner une privation auditive. Selon Arlinger et al, cette privation auditive est caractérisée par une diminution graduelle des capacités auditives et de l'accès à l'information. [32]

De plus, les effets d'une asymétrie auditive importante peuvent varier considérablement d'une personne à l'autre, en fonction de la différence de niveau entre les deux oreilles et de la durée d'accoutumance à cette dissymétrie. [27]

Assurément, une déficience auditive non corrigée peut causer une diminution des capacités auditives et de la compréhension de l'information. Il a été observé que lorsque la déficience auditive n'est pas égale entre les deux oreilles, cela peut avoir un impact plus important sur l'oreille la plus déficiente. Ceci en raison de modifications centrales de la fonction auditive causées par cette asymétrie. [33]

Par exemple, l'utilisation d'une seule aide auditive pour corriger une surdité bilatérale symétrique peut entraîner une dégradation progressive de la compréhension de l'oreille non appareillée, connue sous le nom de privation auditive. C'est pourquoi, le score aux tests audiométriques vocaux diminue au cours du temps pour l'oreille non corrigée. Tandis que ces scores se stabilisent pour l'oreille appareillée. [34]

Cependant, si l'oreille non appareillée est appareillée dans un délai raisonnable, les capacités auditives peuvent être rétablies. Mais si le délai est trop long, il peut y avoir un phénomène d'interférence binaurale. Celui-ci peut réduire l'acuité auditive en écoute binaurale par rapport à l'écoute monaurale sur l'oreille la plus performante. [34]

Ainsi, en cas de surdité asymétrique, une stimulation monaurale peut causer une activation prédominante du cortex auditif de l'oreille controlatérale par rapport à l'oreille stimulée. Cela peut entraîner une perte de latéralisation et une réorganisation des voies auditives centrales en raison de la plasticité cérébrale fonctionnelle. Il est donc primordial d'appareiller les deux oreilles et surtout de rétablir une audition stéréophonique pour que les deux oreilles aient des capacités auditives semblables.

Les cinq derniers points de cette partie ont démontré que la perte asymétrique entraîne l'absence de stéréophonie, que celle-ci a des conséquences néfastes sur la localisation, la compréhension dans le bruit, l'équilibre et qu'elle mène à l'isolement social. C'est pourquoi il paraît nécessaire de réhabiliter l'audition binaurale et donc la stéréophonie des sujets atteints de perte asymétrique.

Cependant, afin de réhabiliter au mieux la stéréophonie des sujets dissymétriques, il est essentiel de connaître la dynamique auditive de ces derniers, leur appréciation des sons supralimaires (plus représentatifs de leur quotidien que les sons liminaires) et les méthodes de réglage qui les prennent en compte.

### III. Appréciation des sons supraliminaire et leur stéréo-équilibre

#### III.1. Dynamique auditive résiduelle

Tout d'abord, il est nécessaire de définir la notion de dynamique auditive pour comprendre celle de dynamique auditive résiduelle.

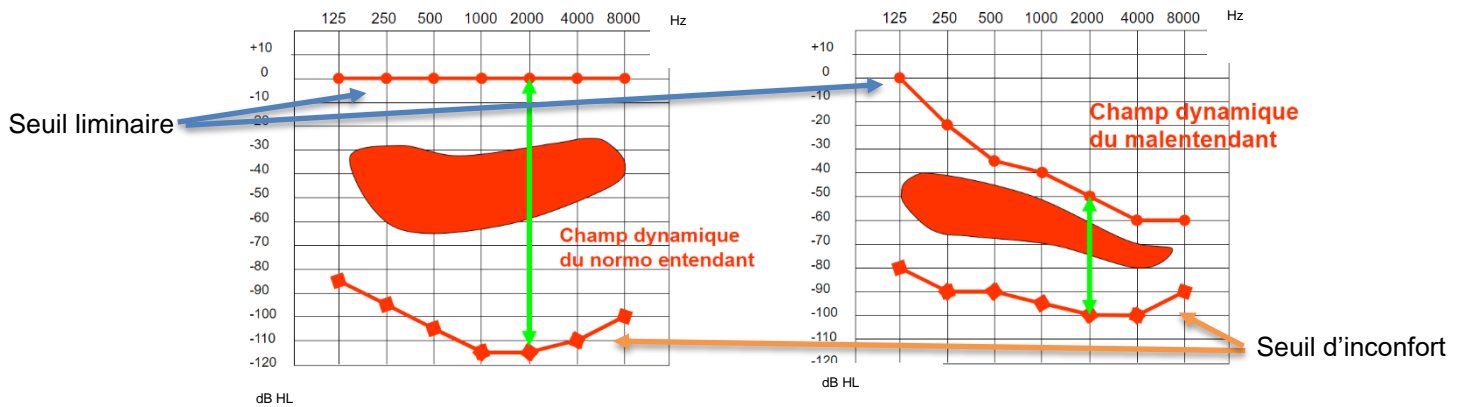
La dynamique auditive représente la gamme de sons qui s'étend de la plus petite intensité sonore perceptible par le sujet (seuil liminaire) à l'intensité la plus élevée tolérable par celui-ci (seuil d'inconfort).

Cependant, les personnes atteintes de troubles de l'audition présentent une diminution de leur dynamique auditive, le terme dynamique auditive résiduelle est alors employé. Cette réduction de la dynamique auditive est engendrée par un phénomène de recrutement.

Ce dernier peut être défini comme une distorsion de l'intensité perçue par le sujet. Cette distorsion s'accompagne d'un accroissement anormal de l'intensité sonore. Le recrutement est lié à une déficience auditive sensorielle, c'est-à-dire une lésion des cellules ciliées externes de la cochlée.

D'un point de vue psychoacoustique, le recrutement se manifeste par une baisse du seuil d'inconfort. Cela signifie qu'une légère variation de l'intensité d'un stimulus peut provoquer une réponse importante de l'oreille. En effet, étant donné qu'un nombre plus important de fibres nerveuses est mis en jeu par un stimulus sonore. Le sujet peut brusquement passer de "je n'entends pas" à "c'est trop fort". [35]

Graphiquement, un « pincement » de la dynamique auditive s'observe, comme illustrer dans la figure 1 ci-dessous.

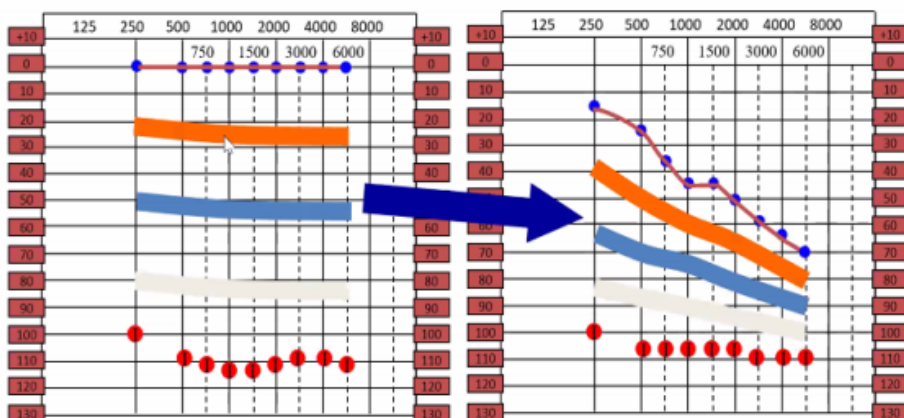


*Figure 5 : À gauche, représentation de la dynamique auditive d'un normo-entendant, comprise entre la ligne rouge supérieure et inférieure. À droite, il s'agit de la même illustration appliquée à un malentendant. [36]*

L'objectif pour l'audioprothésiste est d'adapter ses réglages afin de retranscrire les sons faibles, moyens et forts dans la dynamique auditive résiduelle du malentendant. Ainsi, dans le but d'améliorer la perception et la compréhension des sons environnants du patient, l'audioprothésiste peut amplifier ou comprimer le signal sonore en fonction des seuils prothétiques liminaires et d'inconforts mesurés pour chaque oreille. Il est primordial que la personne malentendante perçoive les sons faibles, moyens et forts de manière similaire à une personne entendant normalement.

[37] Ce principe est illustré par la figure 6 ci-dessous.

#### Transfert des sons dans la dynamique résiduelle



*Figure 6 : « Transfert des sons dans la dynamique résiduelle ». À gauche, représentation de la dynamique auditive d'un normo-entendant, comprise entre la ligne supérieure rouge et inférieure bleue. À droite, il s'agit de la même illustration appliquée à un malentendant. L'audioprothésiste doit retranscrire les sons faibles (en orange sur la figure), moyens (bleu) et forts (blanc) présent dans la dynamique auditive du normo-entendant dans celle du malentendant. [37]*

En effet, lors de l'adaptation, il semble crucial de privilégier la qualité sonore et la retranscription de l'environnement le plus naturellement possible plutôt que chercher à maximiser le gain prothétique. [37]

Deys et al. confirment que l'amplification des sons faibles, moyens et forts doit être ajustée en fonction de la sonie, mais ils ajoutent, que celle-ci doit être réalisée pour chaque oreille. [8] En effet, cette affirmation est d'autant plus vraie pour les pertes asymétriques, car chacune des deux oreilles possède une dynamique auditive résiduelle qui lui est propre.

En outre, Mueller et Ruth ont démontré que les seuils d'inconforts varient de manière significative pour des personnes ayant des pertes auditives différentes, mais également pour des sujets ayant des pertes auditives similaires. [38] Assurément, le ressenti de chaque personne diffère malgré des audiogrammes concordants. [38]

Ainsi, leur étude suggère d'ajuster les niveaux de sortie maximum (MPO) des aides auditives en fonction du ressenti des patients et non d'utiliser des MPO statistiques. Cependant, ils ajoutent qu'il ne faut pas surprotéger, ni sous protéger le sujet, c'est-à-dire que sa dynamique auditive résiduelle doit être respectée. Ainsi, la parole ou des bruits environnementaux à 85 dB SPL doivent être interprétés comme « Fort[s], mais correct[s] ». [38]

Cette étude indique également que le réglage de la puissance maximale de l'appareil auditif influence l'acceptation des sons à forte intensité et la satisfaction globale des utilisateurs d'appareils auditifs. [38]

Ainsi, l'étude se conclut par le fait que les MPO statistiques ne sont pas représentatifs de la réalité, car chaque patient a un ressenti différent. Et que l'utilisation de MPO statistiques peut créer un inconfort (notamment pour les sons forts) et entraîner un rejet des appareils auditifs. [38]

### III.2. Satisfaction des utilisateurs d'aides auditives

Franks et Beckmann indiquent en 1985 que l'appareil auditif est rejeté, car l'une des principales plaintes des utilisateurs était que les appareils auditifs "rendaient les sons trop forts". [39]

Ce phénomène a de nouveau été constaté dans les années 2000 par Kochin. Ainsi, sur 348 propriétaires d'appareils auditifs qui n'utilisent jamais leurs appareils auditifs, l'une des principales raisons de la non-utilisation était que l'appareil auditif produisait des sons « trop forts ». [40]

C'est pourquoi seulement 42 % des utilisateurs d'appareils auditifs sont satisfaits de la capacité des appareils à rendre les « sons forts confortables ». [41]

L'année suivante, Jenstad, Van Tasell et Ewert ont réalisé une étude afin de déterminer les termes les plus utilisés par les patients pour décrire leur ressenti face à l'adaptation prothétique. "Les appareils sont trop forts" était la plainte la plus courante des patients équipés d'appareils auditifs. [42]

Ainsi, toutes ces études montrent que la principale cause d'insatisfaction ou de rejet des aides auditives est due à la retranscription des sons forts qui sont perçus comme trop forts et inconfortables. C'est pourquoi la mesure des seuils d'inconforts prothétiques semble nécessaire. Elle permettrait d'éviter les désagréments liés aux réglages des appareils auditifs.

C'est pourquoi, selon la Société Française d'Audiologie, les tests auditifs supraliminaires permettent de confirmer la limite haute du champ auditif ainsi qu'une accoutumance correcte à l'amplification auditive. [43]

Les seuils d'inconforts sont, en effet, pris en compte dans les méthodes de réglages supraliminaires. Mais quelles sont ces méthodes ?

### III.3. Méthodes de réglages supraliminaires

#### III.3.a. Méthodes de détermination directe et indirecte de la cible

Deux principaux courants de pensée se sont affrontés pour hiérarchiser les méthodes supraliminaires. [44]

Ainsi, il existe les méthodes supraliminaires de détermination indirecte de la cible qui prennent en compte la Médiane Théorique de la Dynamique résiduelle (M.T.D).

Et les méthodes supraliminaires de détermination directe de la cible qui considèrent le M.C.L (Most Comfortable Level), le N.L.C.C (Niveau Limite du Champ auditif Confortable ou Niveaux maximum de confort) et le M.C.R (Most Comfortable Range ou Plage de confort).

#### III.3.b. MTD

La première méthode de réglage supraliminaire est proposée par BALBI en 1935. Elle repose sur la Médiane Théorique de la Dynamique résiduelle (M.T.D). [45]

Toutes les méthodes de réglages proposées postérieurement reposent sur la M.T.D. (KONIG en 1967, BOORSMA en 1977, RENARD en 1978 et KELLER en 1979).

Selon BALBI, « la médiane entre le seuil d'audition et le seuil d'inconfort relevée au casque est la zone d'audition confortable ». [46]

Ainsi, le gain prothétique idéal doit correspondre à la M.T.D. C'est pourquoi, la méthode de réglage de BALBI consiste à transférer l'ensemble de l'énergie des sons de la parole au niveau de la M.T.D.

Cependant, RENARD, BOORSMA et KONIG ont une vision différente du niveau de confort (M.C.L). Assurément, pour ces derniers, la M.T.D sert de base de calcul pour le gain prothétique idéal, mais ne correspond en rien au M.C.L.



### III.3.c. MCL

WASTON et KNUDSEN en 1940 mettent au point une méthode de réglage supraliminaire basée sur le seuil de confort du patient. Ils sont à l'origine du courant des méthodes supraliminaires de type M.C.L (Most Comfortable Level). [47]

Ces méthodes ont pour but d'établir le gain prothétique de référence à partir d'un ou plusieurs éléments de la zone d'audition confortable. Ces éléments peuvent être :

- Le M.C.L (Most Comfortable Level) définissant le niveau de confort moyen (exploité par WATSON et KNUDSEN en 1940, VICTOREEN en 1974, SHAPIRO en 1975, ...)
- Le M.C.L LOW (Most Comfortable Level Low) signifie Niveau de confort bas
- Le M.C.L HIGH (Most Comfortable Level High) traduit par niveau de confort haut et utilisé par LE HER à partir de 1984 [48]

Cependant, nous allons plus particulièrement nous intéresser à la méthode C.T.M : Comfortable Transfert Matrix proposé par LE HER en 1984 qui se base sur la méthode supraliminaire de type M.C.L décrite par WATSON et KNUDSEN en 1940.

La méthode C.T.M « permet une approche dynamique du champ auditif résiduel, de déterminer les cibles de gain et les niveaux de sortie pour chaque niveau d'entrée du signal dans la prothèse. » [45]

L'intitulé C.T.M, Comfortable Transfert Matrix, n'a pas été donné au hasard. Assurément,

Le C pour Comfortable implique que cette méthode se base sur les seuils subjectifs maximums confortables ou MCL High.

Le T signifie Transfert et désigne le « transfert d'énergie acoustique des signaux perceptibles par une oreille normale dans le champ auditif résiduel du malentendant. »

Le M de Matrix correspond à la détermination des « matrices de transfert nécessaires au traitement de l'énergie acoustique des signaux perceptibles par le sujet normal. »

Selon LE HER, le niveau limite du champ auditif conversationnel (N.L.C.C) défini par la méthode C.T.M correspond au seuil maximum confortable (M.C.L HIGH).

[48]

Pour résumer, les méthodes de réglage supraliminaire prennent en compte différents éléments de la zone d'audition confortable du malentendant. Le N.L.C.C ou M.C.L High est notamment pris en considération, car il permet, comme nous l'avons vu dans la partie précédente, d'éviter les désagréments liés à une amplification trop importante des sons forts. C'est pourquoi, lors de notre étude, nous avons décidé de tenir compte de ce seuil maximum de confort. (Voir partie Matériel et Méthode p.44) Mais comment le déterminer de manière fiable et reproductible ?

### III.3.d. Détermination du niveau limite du champ auditif conversationnel

Voltz en 1984 a réalisé une étude afin de déterminer les valeurs de références du seuil N.L.C.C.

Pour ce faire, il diffuse des sons vobulés pulsés à 12 % (pour se rapprocher le plus possible de l'image spectrale de la parole). La durée de présentation des sons était de 8 à 10 secs. L'intensité de départ était fixée à 45 dB HL. L'opérateur augmentait l'intensité des sons par pas de 5 dB, jusqu'à obtenir une réponse du sujet de type « c'est trop fort ! ».

Selon LE HER, le niveau limite du champ conversationnel auditif, c'est-à-dire le N.L.C.C se situe 5 dB en dessous du niveau d'intensité pour lequel le patient indique « c'est trop fort ». Ainsi, le N.L.C.C est défini comme le niveau d'intensité maximum supportable par le sujet afin de dialoguer avec un interlocuteur. Par conséquent, il s'agit du dernier niveau d'intensité avant lequel le sujet demande à son interlocuteur de baisser l'intensité de sa voix qui est devenue anormale ou trop forte. [49]

Les instructions données par écrit au patient étaient les suivantes : [50]

« Vous allez entendre des sons que vous devez considérer comme de petits morceaux de parole. »

« Vous devez me signaler le moment où ces morceaux de parole vous semblent devenir trop forts par rapport à un niveau normal de conversation. »

« Vous ne devez pas avoir l'impression que ces sons s'éloignent, mais les percevoir très clairement. »

« Je cherche le niveau pour lequel vous avez l'impression d'entendre ces niveaux clairement et proches, plus précisément le dernier niveau avant lequel vous aurez l'impression que ces sons deviennent trop fort. »

« L'échelle de sensation sonore suivante vous permettra de mieux comprendre le niveau que nous cherchons ensemble, ce niveau est en gris sur notre tableau. »

0	Rien
1	Presque rien
2	Faible, éloigné
3	Confortable, mais un peu faible
4	Confortable
5	Confortable, Fort et bien net
6	Trop Fort
7	Insupportable

*Tableau 1: Tableau représentant l'échelle de sensation sonore des patients lors de la recherche des N.L.C.C. [50]*

Les valeurs de référence obtenues par Voltz sur des sujets normo-entendants âgés de 20 à 30 ans étaient les suivantes :

Fréquences	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
N.L.C.C en dB SPL	72	72	72	72	70	67	64	63	68	71
N.L.C.C en dB HL	87	87	87	87	85	82	79	78	83	86

*Tableau 2 : Tableau représentant les valeurs de référence obtenues par Voltz lors de la recherche des N.L.C.C. [50]*

Ainsi, pour notre étude, nous avons décidé d'utiliser une méthode similaire à celle de Le Her pour déterminer les MCL High des patients. Pour ce faire, nous avons utilisé une échelle de sensation sonore catégorielle ordonnée. (Voir Annexe 2)

La méthode de Le Her « permet, par une approche dynamique du champ auditif résiduel, de déterminer les cibles de gain et les niveaux de sortie pour chaque niveau d'entrée du signal dans la prothèse ». [45] Les résultats de Voltz en utilisant la méthode de Le Her démontrent que les N.L.C.C sont en moyenne à 84,1 dB HL. C'est pourquoi lors de notre étude, les sons forts et les MPO ont été modifiés afin d'obtenir des MCL High autour de 85 dB HL.

En effet, nous avons utilisé les N.L.C.C, car ils ont l'avantage d'avoir une variance dans une session de mesure bien plus petite que la déviation standard des U.C.L. Assurément, la déviation standard en dB pour les M.C.L High (qui peuvent être assimilés aux N.L.C.C) est de 3.3 dB tandis que la déviation des UCL est de 5 dB. [51]

Cette partie a décrit comment déterminer et ajuster les MCL. Cependant, notre étude a pour but d'établir les conséquences du stéréo-équilibre des MCL sur les pertes asymétriques. Ainsi, il convient d'expliquer la notion de stéréo-équilibre.

### III.4. Stéréo-équilibrage des aides auditives

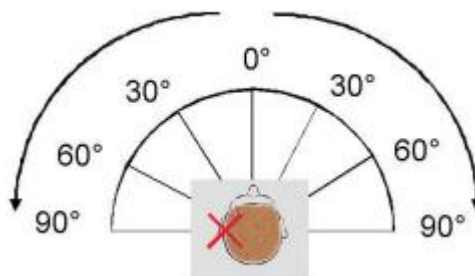
« L'appareillage stéréophonique binaural représente l'appareillage logique, rationnel, fonctionnel ». [18]

Ainsi, rétablir les indices acoustiques nécessaires pour l'audition binaurale est un enjeu majeur. Pour ce faire, il est impératif d'équilibrer la sensation sonore arrivant aux deux oreilles. Il s'agit du stéréo-équilibrage. De nombreux tests sont à notre disposition pour vérifier l'équilibre interaural. Ils peuvent être regroupés en trois catégories : [1]

- Les épreuves de localisation sonore spatiale.
- Les épreuves de discrimination spatiale qui évaluent la capacité à comprendre la parole dans le bruit en fonction de la disposition des sources sonores dans l'espace.
- Les épreuves de mesure multidirectionnelle du gain prothétique.

#### III.4.a. Épreuves de localisation sonore spatiale

L'épreuve de Decroix permet d'évaluer les compétences d'un patient à localiser des sources sonores. Pour ce faire, le patient est placé à l'intersection de sept haut-parleurs espacés de 30°. Il doit identifier la provenance du son. Ce dernier est aléatoirement diffusé à travers les sept haut-parleurs. Le nombre d'erreurs commises par le sujet est enregistré pour évaluer ses capacités de localisation. [52]



*Figure 7 : Représentation de l'épreuve de localisation spatiale de Dehaussy.*

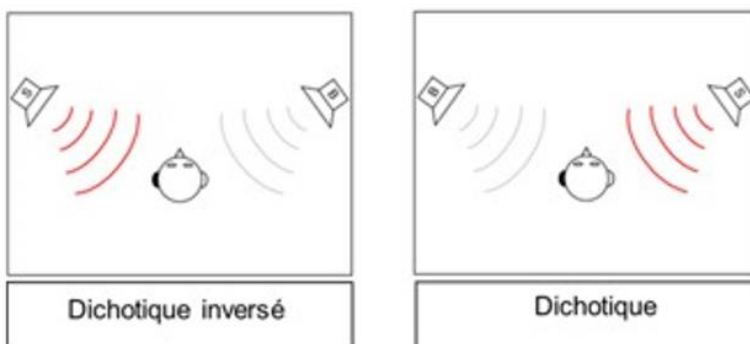
Ne disposant pas de sept haut-parleurs, mais seulement de deux, nous avons choisi pour notre étude de réaliser un test de localisation en demandant au patient d'indiquer d'où venait la source sonore. Cette dernière était diffusée aléatoirement à gauche ou à droite. (Voir partie Matériel et Méthode p.44).

### III.4.b. Épreuves de discrimination spatiale

Actuellement, les audioprothésistes utilisent des tests d'intelligibilité de la parole dans le bruit, comme la méthode "Matrix" ou "French Matrix". L'objectif étant de rétablir les capacités de l'audition binaurale, le score d'intelligibilité devrait être amélioré. Ces tests d'intelligibilité dans le bruit sont effectués dans une cabine insonorisée avec deux haut-parleurs placés en face du patient. Cette configuration permet de réaliser trois conditions différentes :

- La parole est diffusée à droite et le bruit à gauche : condition dichotique
- La parole est diffusée à gauche et le bruit à droite : condition dichotique inversée
- La parole et le bruit sont diffusés simultanément à travers les deux haut-parleurs : il s'agit de la condition diotique

Dans notre étude, nous avons choisi de réaliser ces tests dans les conditions dichotiques et dichotiques inversées afin d'évaluer l'impact du stéréo-équilibre sur la compréhension dans le bruit de nos patients. Voir ci-dessous la représentation du test effectué.



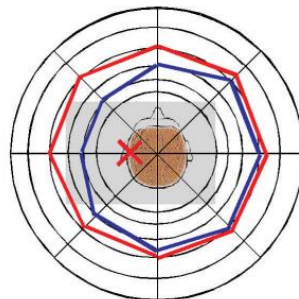
*Figure 8 :* « S » (en rouge) est le haut-parleur qui diffuse le signal de parole et « B » (en noir) est la source du bruit. L'oreille la plus déficiente est représentée en noire. [53]

### III.4.c. Épreuves de mesure multidirectionnelle du gain prothétique

L'épreuve de Dehaussy permet de mesurer le gain prothétique multidirectionnel. [52]

Pour ce faire, le patient est placé au centre d'une pièce avec huit haut-parleurs disposés à 1 mètre de lui, tous les 45 degrés. Pour rappel, si le patient présente une surdité asymétrique, la spatialisation sonore sera altérée, ainsi l'oreille la plus déficiente percevra la parole avec 6.3 dB de moins que la meilleure oreille. C'est pourquoi un bon ajustement de l'appareil auditif permettra de compenser ce déficit en rétablissant un gain prothétique homogène dans les huit azimuts. Le stimulus utilisé pour cette épreuve est un bruit à bande étroite ou un ton warble centré sur le 2 000 Hz. En effet, il s'agit d'une fréquence essentielle pour la compréhension de la parole et c'est également une fréquence atténuée par l'effet de masque de la tête.

Représentation de l'épreuve de Dehaussy :



*Figure 9 : Application pratique de l'épreuve de Dehaussy. La représentation de l'espace sonore avant appareillage est signalée en bleu sur la figure. Après appareillage en rouge. [52]*

Nous pouvons constater qu'oreilles nues (bleu), la spatialisation est altérée du côté de l'oreille déficiente signalée par la croix rouge à gauche. Après appareillage (en rouge), nous constatons que la spatialisation est plus homogène (cercle concentrique).

Pourtant, des seuils prothétiques liminaires égaux pour des pertes symétriques semblent être un indicateur d'équilibre. Cependant, même pour les pertes symétriques, bien que les dynamiques auditives soient similaires dans les deux oreilles, les dommages cochléaires peuvent causer de légères différences dans la manière dont les informations acoustiques sont codées. Ainsi, cette différence de codage perturbe la capacité à discriminer les différences de temps et de niveau entre les deux oreilles. [54]

Pour les pertes asymétriques, les seuils prothétiques liminaires sont encore moins fiables, car les dynamiques auditives sont disparates entre les deux oreilles. Ainsi, des seuils prothétiques liminaires équilibrés en valeur n'induisent en aucun cas un équilibre de sensation pour le patient. « L'équilibrage se réalise donc bien à un niveau supraliminaire et non pas, [...] aux niveaux des seuils prothétiques comme certains audioprothésistes mal informés le faisaient et le font peut-être encore. » [1]

C'est pourquoi l'épreuve multidirectionnelle de gain paraît plus adaptée pour restaurer les indices binauraux.

#### III.4.d. Contrôle de la réhabilitation de l'audition binaurale par l'appareillage stéréophonique

Pour contrôler le rétablissement des indices binauraux, Decroix et Dehaussy ont proposé le « Balance-test d'équilibrage inter-auriculaire ». Le principe du test est le suivant : [1]

- Établissement d'une courbe d'intelligibilité vocale en champ libre. L'objectif est de visualiser le gain monauriculaire après l'appareillage de l'oreille la plus déficiente.



- Une deuxième aide auditive est installée sur l'oreille la moins altérée. Les réglages de ce deuxième appareil sont ajustés jusqu'à ce que les seuils d'intelligibilité des deux appareils soient concordants. Pour cela, la personne malentendante équipée des deux aides auditives est placée entre deux haut-parleurs diffusant un bruit blanc de 55-60 dB SPL (son correspondant à un niveau de bruit courant), toutes les fréquences sont balayées. Les réglages de l'aide auditive de l'oreille la moins déficiente sont modifiés jusqu'à ce que la personne ressente une intensité sonore égale entre les deux oreilles, avec une impression que la source sonore est située derrière sa tête. Ensuite, la personne est invitée à se pencher alternativement à droite et à gauche : Il doit en résulter une sensation de localisation sonore.
- Pour finir, une courbe vocale en champ libre avec appareils binauralement équilibrés est tracée. Cette dernière doit être 5 à 6 dB supérieure à celle tracée monoralement, car le stéréo-équilibrage a permis la restauration des indices binauraux.

Désormais, les audioprothésistes ont remplacé ce test par un balayage des fréquences avec un son vobulé à 55 dB HL. Le patient est placé entre deux haut-parleurs avec ces deux aides auditives. Il doit indiquer s'il entend plus à droite, à gauche ou de manière identique. Selon la réponse de ce dernier, l'audioprothésiste modifie ses réglages puis reteste cette même fréquence jusqu'à obtenir de la part du patient une sensation d'égale intensité.

Pour résumer, le stéréo-équilibrage par balayage, les tests de compréhension dans le bruit et de localisation semblent primordiaux pour vérifier et contrôler l'efficacité des appareillages stéréophoniques. C'est pourquoi nous avons choisi d'effectuer ces trois tests lors de notre étude. (Voir partie Matériel et Méthode p.44). De plus, pour quantifier le ressenti des patients, des questionnaires ont été mis à leur disposition.

## IV. Questionnaires quantifiant le ressenti des patients

Pour évaluer et vérifier l'apport de son adaptation prothétique, l'audioprothésiste a de nombreux outils à sa disposition : l'entretien, les tests prothétiques, les seuils supraliminaires, le stéréo-équilibrage, ... mais également les questionnaires. Ces derniers sont complémentaires à l'observation et à l'entretien. Simple d'utilisation, ils permettent de quantifier le ressenti des patients face à l'appareillage. C'est pourquoi, les questionnaires 15iSSQ, DHI et ABC équilibre ont été utilisés lors de cette étude.

### IV.1. SSQ

Pour comprendre pourquoi le questionnaire 15iSSQ a été choisi pour cette étude, une présentation du questionnaire SSQ (Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale) est nécessaire.

Ce dernier, réalisé par Gatehouse et Noble en 2004, est un questionnaire d'auto-évaluation des capacités auditives composé de 49 questions sous-divisées en 3 catégories : Perception de la parole, Audition spatiale et Qualité de l'audition. [55]

Il explore les différents aspects de l'audition avec des mises en situations représentatives de l'environnement quotidien du patient.

À travers les diverses questions proposées, le patient doit juger de sa capacité auditive dans la situation décrite à l'aide d'une échelle visuelle analogique graduée de 0 à 10, où 0 correspond à « Non, pas du tout » et 10 à « Oui, parfaitement ».

Ce questionnaire est devenu une référence dans le monde de l'audioprothèse, comme en atteste son utilisation dans de nombreuses études telles que : Anderson et al., 2013; House et al., 2010; Noble et al., 2008; Pennini and Almeida, 2021 [56] [57] [58] [59]

Néanmoins, il s'agit d'un questionnaire très long à mettre en pratique, car les sujets mettent entre 10 min et 1 h pour remplir ce questionnaire. Un quart de la population testée par Moulin et al, a mis plus de 25 min à le remplir. [60]

D'où la mise en place en 2019 par Annie Moulin d'une version simplifiée du SSQ, le 15iSSQ. [61] C'est donc ce dernier qui a été utilisé lors de cette étude.

## IV.2. 15iSSQ

Le 15iSSQ est une forme courte du SSQ permettant d'obtenir des mesures fiables et reproductibles, dont le temps de remplissage varie entre 5 et 10 min. [62] De ce fait, beaucoup plus facile à mettre en œuvre que son cousin le SSQ. (Voir Annexe 1.b)

Le 15iSSQ respecte la qualité externe, interne et subjective du SSQ. C'est-à-dire que les propriétés originales du questionnaire SSQ ont été conservées telles que les différentes sous-échelles de mesure et les propriétés psychométriques.

Moulin et al, ont démontré que la forme courte du questionnaire présente une sensibilité à la perte auditive supérieure à celle de la forme longue. En effet, le questionnaire 15iSSQ est plus sensible au niveau de perte d'audition et au degré d'asymétrie auditive que le SSQ. [62] De plus, le questionnaire 15iSSQ met plus en évidence les difficultés auditives des patients appareillés que le questionnaire SSQ.

Ainsi, le questionnaire 15iSSQ étudie le ressenti des patients vis-à-vis de leur appareillage auditif pendant l'adaptation et le suivi prothétique. De plus, il permet de visualiser l'évolution des résultats des patients appareillés. Ces derniers sont plus confiants quant aux bénéfices obtenus, car ce sont les seuls juges. Étant donné qu'il s'agit d'une auto-évaluation, l'audioprothésiste n'influence pas le résultat.

### IV.3. DHI

Comme mentionné précédemment, l'équilibre est affecté par le stéréo-équilibre. C'est pourquoi, il semblait nécessaire de quantifier le ressenti des patients face à leur équilibre après les différents ajustements effectués. Pour ce faire, le questionnaire DHI a été utilisé. (Voir Annexe 1.c)

Le DHI, Dizziness Handicap Inventory, signifie Inventaire du Handicap lié aux vertiges. Il s'agit d'un questionnaire permettant de retracer le niveau de handicap lié aux vertiges auto-perçus par les patients. [63]

Il évalue le handicap vestibulaire tout en incluant les notions de déficience, d'incapacité et de handicap. Ainsi, le DHI met en évidence les fragilités de l'équilibre fonctionnel.

Il faut entre 5 et 10 min pour remplir et noter le questionnaire. [64] Celui-ci est composé de 25 items répartis en 3 catégories :

- Fonctionnel (9 questions)
- Émotionnel (9 questions)
- Physique (7 questions)

Le patient doit répondre avec trois niveaux d'affirmations différents : « oui », « parfois » ou « non ». Chacun de ces 3 niveaux de réponses apportent un nombre de points différents :

- « oui » qui signifie que la gêne est constamment présente est noté sur 4 points dans le score total
- « parfois » indique que la gêne est inconstante, octroie 2 points
- « non » représente l'absence de gêne, cette réponse est comptabilisée par 0 point

Le score total peut donc varier de 0 à 100.

Selon, Whitney et al. 2004, un score total compris entre 0 et 30 indique un handicap léger, un score de 31 à 60 représente un handicap modéré et un handicap sévère est reflété par un score variant de 61 à 100. [65]

Compte tenu des liens étroits entre les vertiges et l'audition binaurale, il semblait nécessaire d'utiliser ce questionnaire dans cette étude.

#### IV.4. ABC Scale

L'ABC Scale ou Activities-specific Balance Confidence Scale signifie Échelle de confiance en l'équilibre spécifique aux activités. Il s'agit d'un questionnaire mesurant la confiance d'une personne dans sa capacité à effectuer des activités sans perdre l'équilibre. (Voir Annexe 1.a)

L'échelle ABC a été créée en 1995 en utilisant un échantillon de 15 physiothérapeutes et ergothérapeutes et de 12 patients âgés de plus de 65 ans.

Pour mettre au point ce questionnaire, les thérapeutes ont été sollicités pour définir les 10 activités les plus fondamentales de la vie courante qui nécessitent un changement de position ou de la marche et qui sont considérées comme sûres pour la plupart des personnes âgées. Les patients ont également été interrogés sur les mêmes points que les thérapeutes, avec une interrogation en plus portant sur les activités qui les font le plus craindre de tomber. [66]

Les items ont été sélectionnés pour inclure des activités difficiles et potentiellement dangereuses. Les réponses ont été évaluées sur une échelle de 0 à 100 % pour évaluer l'auto-efficacité.

Finalement, l'échelle ABC se compose de **16 questions** qui demandent aux patients de noter leur confiance en leur capacité à maintenir leur équilibre et à éviter l'instabilité lors de la réalisation d'activités spécifiques. La durée de passation de ce questionnaire varie entre 10 et 20 minutes.

À l'origine, une échelle de réponse continue allant de 0 % à 100 % permettait de répondre à ce questionnaire. Cependant, une publication plus récente de Myers a substitué cette échelle par une échelle à 11 points avec des incréments d'ancrage de 10 % (0 %, 10 %, ..., 100 %). [67]

Le score final est obtenu en additionnant les scores de chaque question et en divisant par le nombre total de questions, c'est-à-dire 16. Ainsi, ce score varie de 0 % à 100 %.

Selon Myers et al. le niveau de fonctionnement physique chez les personnes âgées peut être catégorisé en 3 parties : [68]

- Score total inférieur à 50 % = faible niveau de fonctionnement physique
- Score total entre 50 et 80 % = niveau modéré de fonctionnement physique
- Score total au-dessus de 80 % = niveau élevé de fonctionnement physique

Cette première partie a démontré l'importance de restituer une audition binaurale équilibrée chez les sujets présentant une perte asymétrique. Ainsi que la nécessité d'évaluer le ressenti des patients grâce à des méthodes supraliminaires et à travers différents questionnaires.

C'est pourquoi, la deuxième partie de cette étude présentera le matériel et les méthodes mis en place pour atteindre cet objectif.

## PARTIE II : ÉTUDE EMPIRIQUE

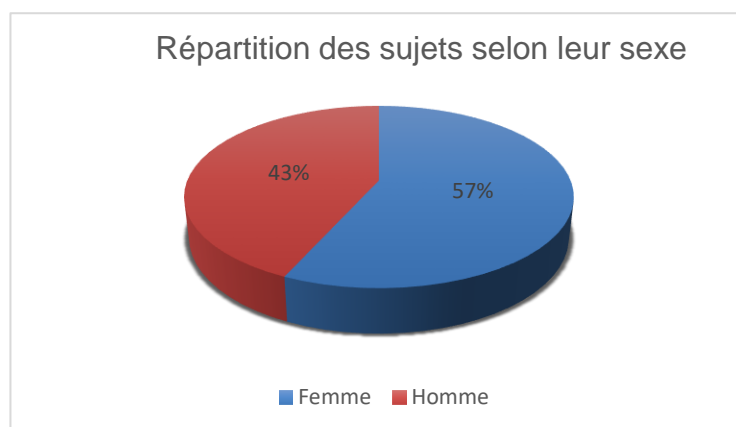
L'objectif de cette étude est de vérifier l'efficacité de l'équilibrage de la sonie en supraliminaire et donc d'évaluer les conséquences sur la localisation des sources sonores et la compréhension dans le bruit chez les sujets souffrant d'une perte asymétrique.

### I. Matériel et Méthode

#### I.1. Sujets étudiés

Au total, 43 patients ont été recrutés, dont 6 ont abandonné. Parmi ces derniers, quatre ont préféré arrêter l'étude, car elle était trop énergivore pour eux. L'un des sujets a abandonné l'étude à la suite d'une crise d'acouphène liée à l'appréhension des changements sur les réglages et le dernier n'a pas pu poursuivre l'étude, car il a perdu l'un de ses appareils auditifs.

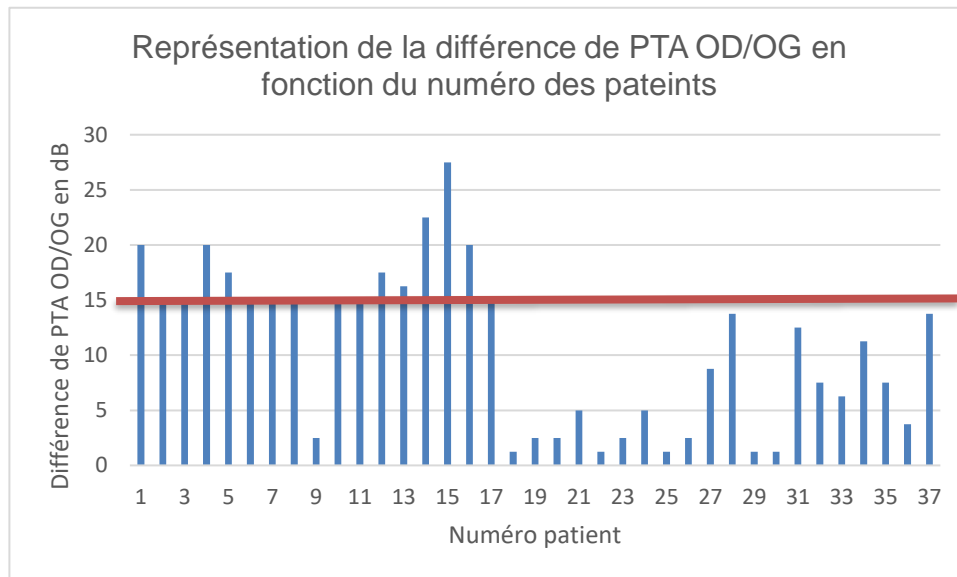
Ainsi, parmi les 37 sujets ayant réalisé l'ensemble des rendez-vous se trouve 21 femmes et 16 hommes.



*Figure 10 : Graphique circulaire représentant la répartition des sujets selon leur sexe. N=37 (N= Nombre de sujets)*

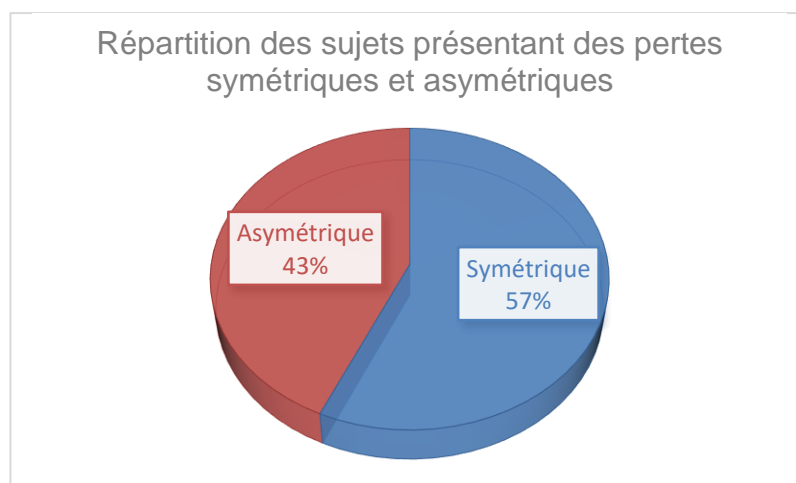
La moyenne d'âge de ces derniers est de 72,75 ans avec un écart-type de 9,6 ans.

Tous les sujets présentent une perte auditive bilatérale. Cependant, nous nous intéressons plus particulièrement aux pertes asymétriques. Comme expliqué dans la partie théorique, une perte a été qualifiée d'« asymétrique », si l'écart entre la perte tonale moyenne de la meilleure oreille et celle de la plus déficitaire était supérieur ou égale à 15 dB.



**Figure 11 :** Représentation de la différence de PTA OD/OG en fonction du numéro des patients.

Ainsi, 16 patients sont atteints de perte asymétrique et 21 de perte symétrique.



**Figure 12 :** Graphique circulaire représentant la répartition des sujets selon leur type de perte auditive. N=37



Cette étude comprend des pertes symétriques afin de pouvoir les comparer aux pertes asymétriques. C'est pourquoi, avec deux camarades, nous avons élaboré un protocole commun pour tester le plus grand nombre de sujets possible, dans le but d'étudier simultanément trois problématiques différentes.

Marine DORRÉ s'est concentrée sur les patients présentant des niveaux anormaux de MCL, Maïssane NEDJMA a choisi d'évaluer l'équilibre postural avant et après des modifications de réglages chez tous les profils de patients.

Mon étude portait sur les patients présentant des surdités asymétriques. Cependant, nous avons choisi de ne pas inclure les patients ayant une surdité bilatérale ou monaurale sévère à profonde.

94,6 % des sujets possédaient des appareils PHONAK et 5,4 % de la marque BERNAFON. Parmi ces sujets, tous sont appareillés binauralement depuis plus de 6 mois. En effet, ils sont en moyenne appareillés depuis 6,5 ans avec un écart-type de 4,8 ans.

De plus, les patients ont été recrutés s'ils portaient leurs appareils plus de 8 h/j. Durant l'étude, le data logging indiquait un port moyen de 11,8 h/j avec un écart-type de 2,2 h/j.

Nous avons choisi ces deux derniers critères pour inclure les patients dans l'étude, car un port régulier des appareils auditifs permet une meilleure adaptation aux changements de réglage. De plus, les patients sont habitués à l'appareillage et donc plus à même de répondre aux différents tests et questionnaires de cette étude. Ces derniers vont être présentés ci-dessous.

## I.2. Matériel

Lors de cette étude, une cabine insonorisée équipée de deux haut-parleurs face aux patients et d'un audiomètre OTOsuite de Otometrics a permis de réaliser les mesures en champ libre. Les seuils prothétiques liminaires et supraliminaires ont été mesurés avec des sons vobulés. Pour la mesure des seuils supraliminaires, une échelle visuelle analogique ordonnée a été mise à la disposition des sujets. (Voir Annexe 2)

La mesure des MCL vocaux ainsi que les tests de localisation des signaux de paroles en champ libre ont nécessité l'utilisation des deux premières listes dissyllabiques de FOURNIER. (Voir Annexe 4)

Ce sont les 18 premières listes cochléaires de LAFON qui ont été employées pour la mesure d'intelligibilité dans le bruit en condition dichotique et dichotique inversée. (Voir Annexe 5) De plus, pour quantifier l'effort d'écoute durant ces tests, une échelle visuelle analogique a été fournie aux patients. (Voir Annexe 3.a)

Une autre échelle visuelle analogique a permis aux sujets d'indiquer le degré de latéralisation du son lors du test d'équilibre de sonie en supraliminaire. (Voir Annexe 3.b)

Pour finir, trois questionnaires ont permis aux patients de quantifier leur ressenti, la perception de la parole, sa spatialisation et sa qualité, ainsi que l'évolution de leur équilibre postural après les réglages. Il s'agissait du 15iSSQ, du DHI et de l'échelle ABC. (Voir Annexes 1.a ; 1.b ;1.c)

Les analyses statistiques des données ont été effectuées à l'aide des logiciels Microsoft Excel et Xlstat.

À présent, nous pouvons pas à pas analyser la procédure qui a été mise en place lors de cette étude.

### I.3. Procédure

Il s'agit d'une étude longitudinale qui s'est déroulée sur 30 jours. Ainsi, les patients ont été accueillis sur trois rendez-vous espacés de 15 jours.

Lors de cette étude, deux groupes ont été considérés :

- **Groupe 1** : Tests à J0 **sans modifier** les réglages. Ces derniers sont modifiés à J15. Puis, les sujets sont retestés à J30.
- **Groupe 2** : Tests et **modification** de réglage à J0. Ensuite, les patients sont retestés à J15 et à J30 sans modification.

Nous avons choisi de réaliser deux groupes afin de s'assurer, qu'il n'y ait pas d'effet d'apprentissage ou de variabilité lié au test-retest. De plus, revoir les patients à deux reprises permet d'observer l'évolution des résultats et de leurs ressentis.

Les tests réalisés lors de cette étude ont été les mêmes à J0, J15 et J30.

Ainsi, lors du premier rendez-vous, les patients étaient invités à compléter les questionnaires 15iSSQ, DHI et ABC scale afin de quantifier leur ressenti avant toute modification de réglage. Pendant ce temps, les appareils étaient vérifiés et nettoyés afin de s'assurer de leur bon fonctionnement avant le début des tests.

L'audition liminaire et supraliminaire de chaque patient a été vérifiées au casque, dans le but de s'assurer que les critères d'inclusion étaient validés et que leur audition n'avait pas fluctué depuis le dernier test effectué par l'audioprothésiste.

À la suite de cette vérification, les seuils liminaires prothétiques en champ libre en bilatéral ont été mesurés à l'aide d'un son vobulé par pas de 2 dB. Ce signal a été utilisé, contrairement à un son pur, pour éviter que les appareils auditifs le confondent avec un bruit stationnaire. Ainsi, l'audiométrie tonale en champ libre a été exécutée par bande de demi-octaves du 250 au 8 000 Hz.

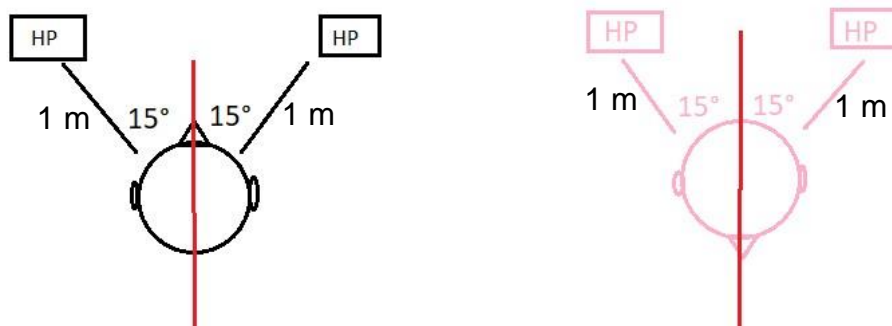
Pour s'assurer du ressenti des patients à un niveau supraliminaire, les MCL en champ libre bilatéralement ont été testés. Pour ce faire, la consigne suivante était donnée aux patients : « Vous allez entendre des sons qui vont augmenter progressivement en intensité. Pouvez-vous indiquer avec votre doigt sur l'échelle, l'intensité ressentie pour chaque son et préciser quand c'est TRÈS fort ». Ainsi, l'échelle visuelle analogique ordonnée de l'annexe 2 leur était fournie. Les MCL ont donc été mesurés par bandes de demi-octaves du 250 au 8 000 Hz à l'aide d'un son vobulé continu. À chaque nouvelle fréquence, le son était présenté à une intensité sonore confortable pour éviter de gêner les patients sensibles aux sons forts. Puis, pour obtenir une mesure aussi précise que possible, l'intensité était augmentée par pas de 2 dB jusqu'à ce que le patient indique « TRÈS fort » sur l'échelle.

Afin d'apprécier la gêne des patients dans un milieu plus écologique, les MCL vocaux ont été établis. En effet, étant donné que la parole est composée de différentes bandes de fréquences, les MCL vocaux permettent de mieux refléter la gêne ressentie par les patients dans leur vie quotidienne. Pour tester ces derniers, les deux premières listes dissyllabiques de FOURNIER ont été employées. Les patients avaient pour consigne d'indiquer sur l'échelle précédemment citée quand la parole devenait trop forte, gênante. C'est-à-dire quand, en milieu écologique, ils auraient indiqué à leur interlocuteur de baisser la voix. La première liste de FOURNIER a été diffusée avec une voix d'homme par pas de 2 dB jusqu'à ce que le patient indique « TRÈS fort » sur l'échelle. Puis, toujours avec la même consigne, la deuxième liste était passée avec une voix de femme.

Les seuils supraliminaires établis, nous nous sommes intéressés à l'équilibrage des appareils auditifs.

Dans un premier temps, un test d'équilibre de sonie a été réalisé. Pour ce faire, un balayage des fréquences de 250 à 6 000 Hz a été fait avec son continu vobulé de 55 dB HL diffusé simultanément sur les deux haut-parleurs. Les patients avaient pour consigne d'indiquer sur une échelle Gauche/droite graduée de - 5 à + 5 de quel côté le son était le plus fort, ou s'il était centré. (Voir annexe 3.b) (- 5 correspond à un son plus fort à gauche et + 5 à un son plus fort à droite). Cette échelle permettait d'avoir le degré de latéralisation. Elle nous donnait une indication sur les réglages à effectuer afin d'obtenir un équilibre de sonie entre les deux oreilles. En effet, après équilibrage des appareils, le patient doit ressentir la même sensation de sonie à droite et à gauche afin de rétablir sa capacité à localiser les sons. C'est-à-dire sa "sensation stéréophonique". [8]

C'est pourquoi un test de localisation était également effectué. Pour cette évaluation, les deux premières listes de FOURNIER ont été diffusées de manière aléatoire, soit à droite, soit à gauche, à un niveau sonore confortable (55 dB HL). Les patients devaient indiquer de quel côté ils entendaient le son, sans avoir besoin de répéter les mots. La mesure a été reproduite 20 fois (2 listes) pour obtenir un score moyen de bonne réponse pour chaque oreille. Le patient a ensuite été testé dans deux configurations différentes (voir figure 13 ci-dessous) :



*Figure 13 :* Configuration des haut-parleurs (HP) et du patient lors du test de localisation.

Étant donné qu'un stéréo-équilibre et des réglages étaient effectués, nous voulions nous assurer que la compréhension de la parole en milieu bruyant des patients n'était pas dégradée. De plus, étant donné que le rétablissement de l'audition binaurale améliore la compréhension dans le bruit [4] [15] [16], nous voulions nous en assurer en mettant en œuvre un test d'intelligibilité dans le bruit.

Pour mener à bien cette expérience, deux conditions ont été testées. Une première configuration d'écoute en dichotique et une seconde en dichotique inversée.

Pour les patients ayant une perte auditive asymétrique, lors de l'écoute dichotique, le bruit était diffusé sur l'oreille la plus déficitaire et la parole était orientée sur la meilleure oreille. Puis la configuration inverse était réalisée en configuration dichotique inversée, c'est-à-dire avec la parole diffusée sur l'oreille la plus déficitaire et le bruit diffusé sur l'oreille la moins déficitaire.

Cependant, pour les pertes auditives symétriques, la configuration était toujours la même avec, en condition dichotique, la parole dirigée sur l'oreille droite et le bruit sur l'oreille gauche. En condition dichotique inversée, la parole est diffusée sur l'oreille gauche et le bruit sur l'oreille droite.

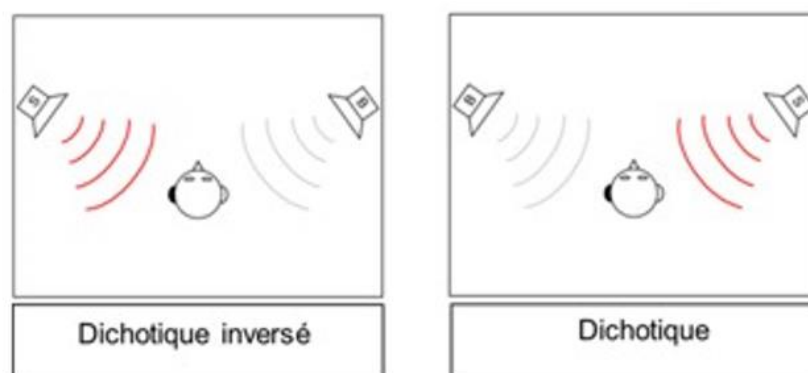
Les deux conditions ont été effectuées en champ libre avec deux haut-parleurs, en utilisant les listes cochléaires de LAFON (voir Annexe 5) et un bruit de fond de type "cocktail party". Le signal de parole était émis à une intensité moyenne supérieure au seuil (65 dB SPL) et le niveau de bruit variait en fonction des résultats obtenus. En effet, ce test a nécessité une liste d'échauffement afin de trouver le RSB adapté à chaque patient selon la configuration qui lui était soumise. C'est pourquoi, la différence de niveau sonore entre la parole et le bruit (RSB) était ajustée en fonction du taux d'intelligibilité obtenu.

Ainsi, un RSB de +3, c'est-à-dire la parole 3 dB plus forte que le bruit, était appliqué si le taux d'intelligibilité du patient était supérieur à 30 % (soit 15 phonèmes). Le niveau de bruit était alors placé à 62 dB SPL, tandis que la parole restait à 65 dB SPL. Cependant, si le taux d'intelligibilité était inférieur à 30 %, le RSB était de +6, ce qui signifie que le niveau de bruit était de 59 dB SPL.

Ainsi, les 18 premières listes de LAFON ont été utilisées de manière aléatoire à chaque rendez-vous. À chacun de ces derniers, étaient utilisés :

- 2 listes d'entraînement (une liste en condition dichotique et une liste en condition dichotique inversée). Elles étaient considérées comme listes d'entraînement, c'est-à-dire qu'elles n'étaient pas comptabilisées dans les résultats afin de laisser le temps au patient de « s'habituer » au test et de déterminer le RSB à utiliser.
- 2 listes pour la condition dichotique
- 2 listes pour la condition dichotique inversée

Ci-dessous, se trouve la configuration dans laquelle sont placés les patients lors des deux conditions :



**Figure 8 :** « S » (en rouge) est le haut-parleur qui diffuse le signal de parole et « B » (en noir) est la source du bruit. L'oreille la plus déficiente est représentée en noire. [53]

À la fin de chaque condition, une mesure de l'effort d'écoute était réalisée. Ainsi, une échelle visuelle analogique graduée de 0 à 10 représentait l'effort qu'avait dû fournir le patient pour répondre. 0 représentait une absence d'effort, tandis que 10 signifiait que l'effort était maximal. (Voir Annexe 3.a)

Une fois l'ensemble des tests achevés, une modification des réglages survenait (à J0 pour le groupe 2 et à J15 pour le groupe 1).

Pour chaque fréquence, les gains à 50, 65 et 80 ont été ajustés en fonction des résultats au test d'équilibrage stéréophonique. Le but était d'obtenir une sensation sonore équivalente entre les deux oreilles. Après chaque modification des réglages, le test d'équilibre était à nouveau réalisé jusqu'à ce que le patient obtienne une sensation sonore équilibrée, c'est-à-dire que le son soit perçu « au milieu ». Cependant, pour les personnes ayant une perte asymétrique conséquente, une perception du son centré n'était pas toujours réalisable. En effet, pour certains, il existait une différence de plus de 50 dB entre les deux oreilles sur une fréquence donnée. Le but a donc été de se rapprocher le plus possible d'un son équilibré, tout en respectant le confort d'écoute des patients.

De plus, pour respecter leur confort auditif, les prothèses auditives ont été ajustées pour que les MCL se rapprochent le plus possible de 85/90 dB HL. Pour cela, les paramètres de compression des aides auditives ont été modifiés en ajustant les gains à 80 et le MPO. Après ces ajustements, les MCL ont été mesurés à nouveau pour vérifier si ces réglages étaient suffisants pour atteindre les objectifs de 85/90 dB HL. Ces réglages ont pour but d'améliorer la capacité des patients à entendre dans des environnements bruyants, tout en évitant une sur amplification des sons forts. De plus, les tests de MCL permettent également de détecter des erreurs de réglage telles qu'une fréquence qui a un MCL anormalement bas comparé aux autres fréquences dont les MCL se situent approximativement à 85/90 dB HL.



À la fin de ce rendez-vous, deux nouveaux étaient planifiés 15 et 30 jours après.

Lors du deuxième rendez-vous, la procédure était identique, seuls les tests audiométriques au casque n'étaient pas refaits. De plus, ce sont les patients du groupe 1 qui voyaient leurs réglages modifiés. Tandis que les patients du groupe 2 repartaient avec les mêmes réglages que lors de la fin du premier rendez-vous. Le but était de visualiser l'impact d'une acclimatation plus longue.

Le dernier rendez-vous se déroulait de la même manière que les deux précédents. Cependant, à l'issue du rendez-vous, les patients pouvaient conserver leurs nouveaux réglages, ou bien les garder avec quelques ajustements ou encore reprendre ceux qu'ils avaient avant le début de l'étude.

L'ensemble des réponses des patients ont été conciliées dans Excel et analysées au moyen d'XLSTATS.

## PARTIE III : RÉSULTATS

Pour rappel, l'objectif de ce mémoire est de vérifier l'efficacité des réglages prenant en compte un test de stéréo-équilibre en supraliminaire chez les patients présentant une perte asymétrique.

Les hypothèses de l'étude sont les suivantes :

- La prise en compte des seuils supraliminaires et l'équilibrage de la sonie permettent aux patients souffrant d'une perte asymétrique de retrouver une sensation stéréophonique par la réhabilitation de l'audition binaurale. Cette dernière leur permettrait une meilleure qualité de l'audition, de localisation et de compréhension dans le bruit.
- De plus, le stéréo-équilibre a pour but de réduire l'écart entre les deux oreilles, c'est-à-dire de faire en sorte que les informations traitées par les deux oreilles soient comparables. Le but étant d'apporter un meilleur équilibre postural.
- En outre, la restauration de l'ensemble de ces indices doit avoir un impact émotionnel positif sur la qualité de vie des patients et réduire leur isolement social.

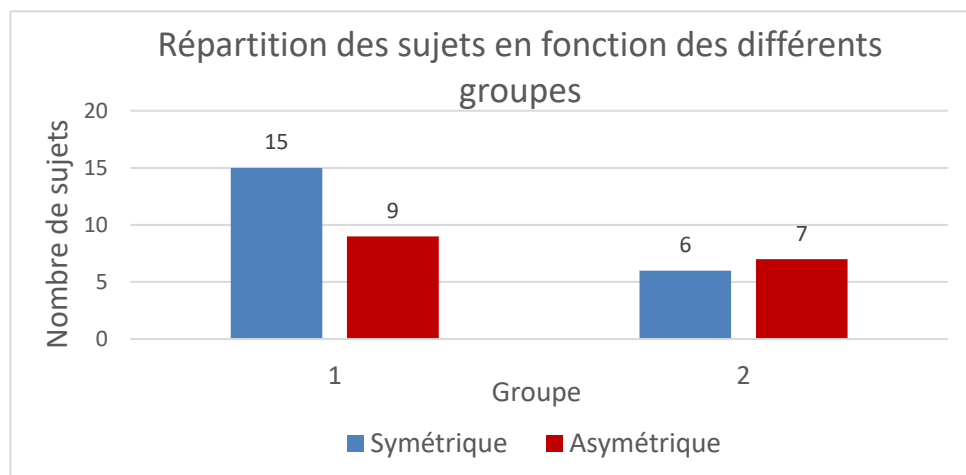
Pour valider ou non ces hypothèses, des tests non paramétriques, tels que le test des rangs signés de Wilcoxon, ont été mis en place pour comparer l'effet test-retest ainsi que les scores aux différents tests et questionnaires avant et après modification des réglages.

C'est pourquoi, sur les graphiques, les données ont été classées par groupes en fonction de leur mode de classification. Les symboles \* ( $p < 0,05$ ), \*\* ( $p < 0,01$ ), \*\*\* ( $p < 0,001$ ) indiquent que la différence est significative avec respectivement un risque  $\alpha$  de 5 %, 1 % et 0,1 % selon les tests de Wilcoxon. De plus, les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Pour notre profession, il est crucial que les tests que nous effectuons puissent être appliqués à l'ensemble de la population. C'est pourquoi nous avons effectué des tests de stéréo-équilibre et de prise en compte des MCL sur des sujets présentant des pertes auditives symétriques et asymétriques afin d'établir différentes cohortes de tests.

Ainsi, pour mener à bien cette analyse, les patients ont été divisés en différents groupes :

- Le groupe 1 comme cité précédemment correspond aux sujets dont les réglages ont été modifiés à J15.
- Le groupe 2 a reçu des modifications à J0.
- À l'intérieur de ces groupes, les sujets ont été placés dans le groupe Asymétrique (Groupe A) si l'écart entre leurs PTA oreille droite et gauche est supérieur ou égal à 15. Sinon, ils font partie du groupe Symétrique (Groupe S).



*Figure 14 : Répartition des sujets en fonction des différents groupes. N=24 dans le groupe 1 et N=13 dans le groupe 2.*

À la suite de cette répartition des sujets, une analyse de l'effet retest a été menée.

## I. Test-retest

### I.1. Définition du Test-retest

L'effet retest se réfère à une augmentation des scores d'un test lorsqu'il est administré deux fois sans intervention entre les deux passations. [69]

Cette amélioration des scores peut être influencée par plusieurs facteurs. Parmi ceux-ci, peuvent être cités la familiarisation avec l'environnement d'évaluation, la reconnaissance des éléments du test [69][70], l'apprentissage procédural, les propriétés du test telles que sa complexité ou sa méthode de présentation. [71][72]

En outre, des caractéristiques individuelles telles que « le QI, l'âge, la personnalité, la motivation et l'humeur » peuvent contribuer à une amélioration des performances lors du retest. [69][73]

C'est pourquoi il semblait nécessaire d'évaluer l'impact du retest.

### I.2. Test-retest sur l'ensemble des sujets

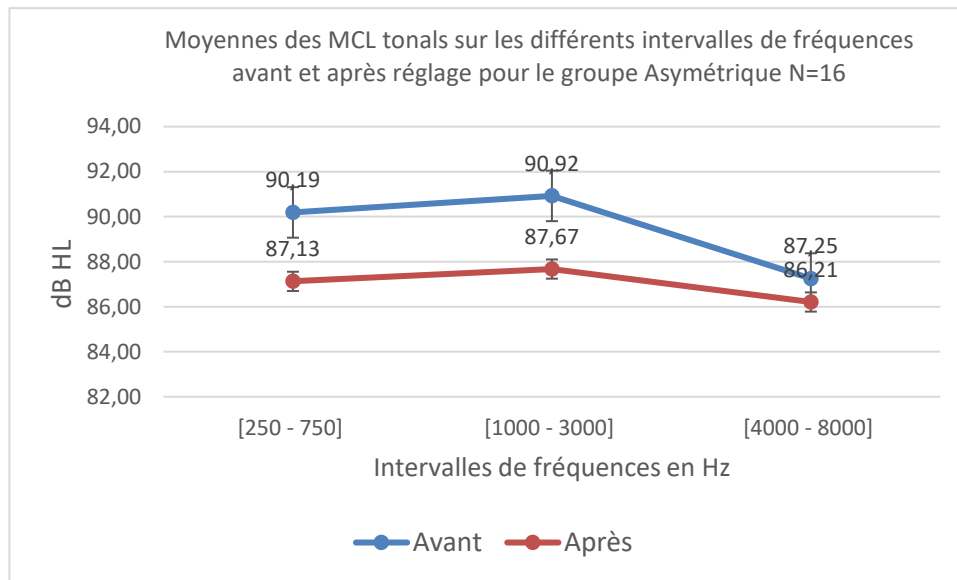
Des tests de Wilcoxon, sur les scores, aux tests-retests des épreuves dichotiques, dichotiques inversées, ainsi que sur les scores aux questionnaires 15iSSQ et DHI, sur les scores totaux et sur les sous-items, n'ont pas été significatifs. Que ce soit sur l'ensemble des sujets, les sujets présentant une perte symétrique ou asymétrique. (Voir Annexe 6 avec les différents résultats).

Des tests de Wilcoxon ont également été effectués pour vérifier les hypothèses précédemment mentionnées sur les résultats des épreuves avant et après réglages. La comparaison a été pratiquée sur l'ensemble des sujets, puis séparément sur les groupes asymétrique et symétrique.

## II. Comparaison des résultats avant et après réglages

### II.1. Test des MCL tonals

Pour s'assurer du ressenti des patients à un niveau supraliminaire, les MCL en champ libre bilatéralement ont été testés. L'objectif de l'étude était de replacer ces MCL autour de 85 dB HL. La figure 15 ci-dessous illustre l'évolution moyenne des MCL tonals.



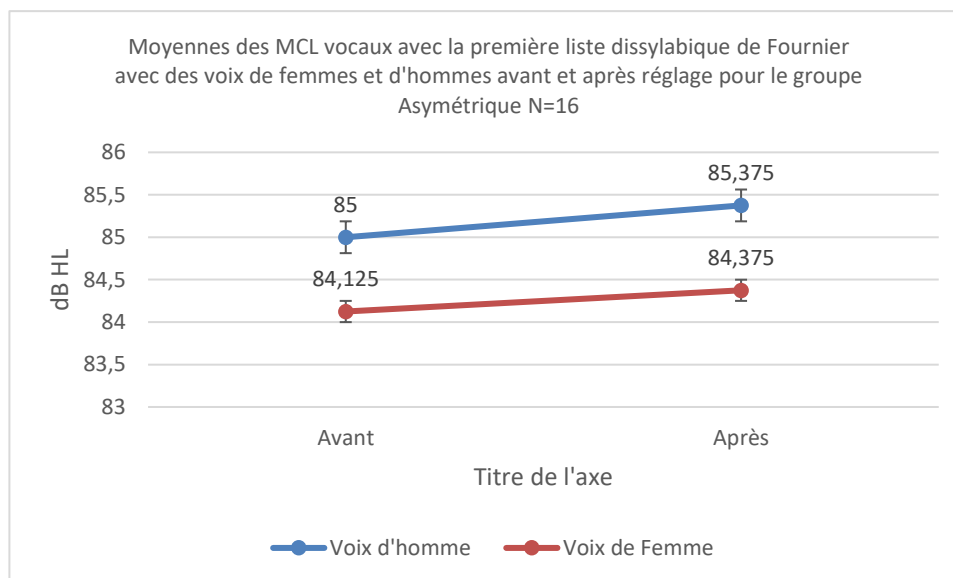
**Figure 15 :** Moyennes des MCL tonals : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte asymétrique. N=16. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Les résultats des tests de Wilcoxon ont attesté que les réglages réalisés ont entraîné une différence significative sur les intervalles de fréquences graves [250-750] Hz et médiums [1000-3000] Hz ( $p=0,045$  et  $p=0,029$  respectivement). Cependant, aucune différence significative n'a été observée sur l'intervalle aigu [4000-8000] Hz ( $p=0,670$ ).

Par conséquent, nos résultats attestent que les ajustements effectués ont eu un impact significatif sur les intervalles graves et médiums, mais pas sur l'intervalle aigu.

## II.2. Test des MCL vocaux

Dans le but d'évaluer la gêne ressentie par les patients dans leur environnement quotidien, les MCL vocaux ont été mesurés en utilisant les deux premières listes dissyllabiques de FOURNIER. La figure 16 présentée ci-dessous représente la variation moyenne des MCL vocaux avant et après les réglages.



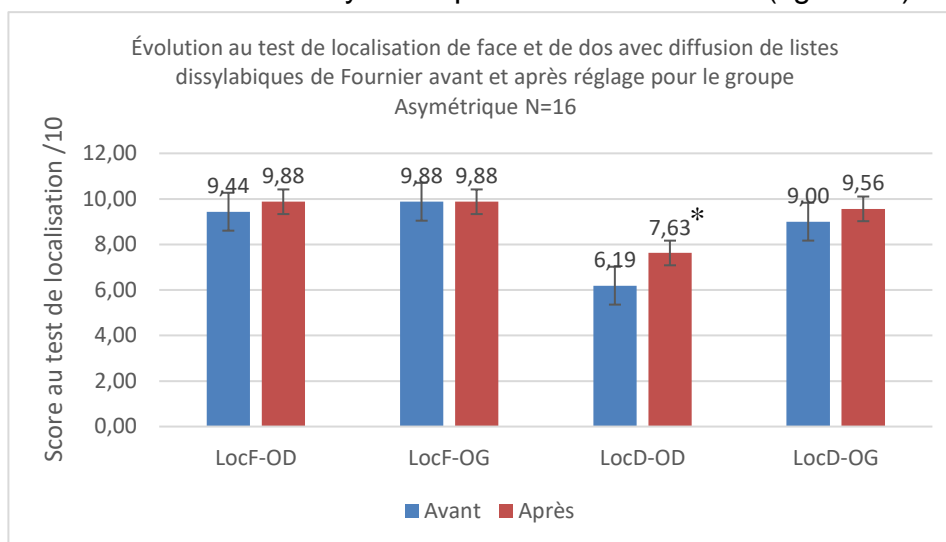
*Figure 16 : Moyennes des MCL vocaux : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte asymétrique. N=16. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.*

Les résultats indiquent que les MCL vocaux ont augmenté d'environ 0,3 dB en moyenne (figure 16 ci-dessus). Cependant, cette augmentation n'est pas statistiquement significative, comme le confirment les tests de Wilcoxon avec une voix d'homme ( $p=0,300$ ) et une voix de femme ( $p=0,280$ ). Les réglages n'ont donc pas eu d'effet sur les résultats.

### II.3. Test de localisation

Lors du test de localisation, 20 mots étaient présentés aléatoirement à gauche ou à droite. Le patient devait alors indiquer le côté où il percevait la stimulation sonore.

Les résultats du test ont été analysés et présentés ci-dessous (figure 17).



**Figure 17 :** Score au test de localisation : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte asymétrique. N=16. LocF-OD correspond à la localisation de face OD, LocF-OG à la localisation de face OG, LocD-OD illustre la localisation de dos OD et pour finir LocD-OG représente la localisation de dos OG. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

#### Localisation de face :

Graphiquement, aucune évolution significative n'est observée pour la localisation de face. Des tests de Wilcoxon confirment que ces résultats sont non statistiquement significatifs ( $p=0,098$  pour LocF-OD et  $p=1$  pour LocF-OG).

#### Localisation de dos :

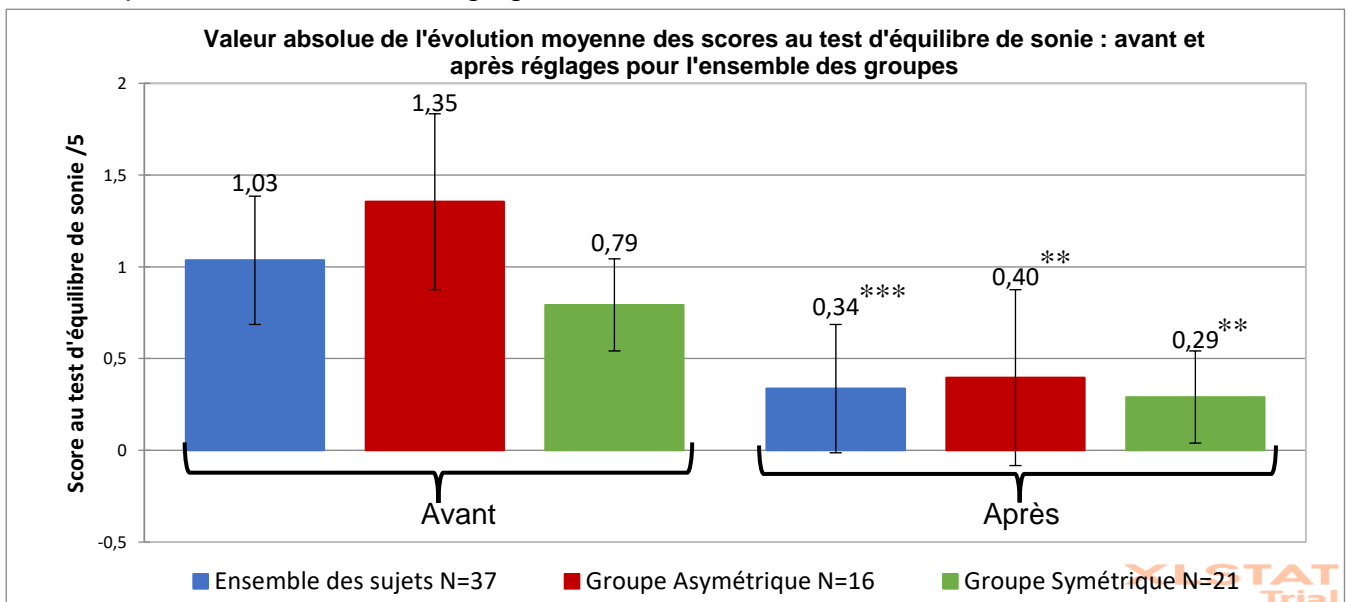
En revanche, une évolution positive est constatée pour la localisation de dos. Après ajustement des réglages, le score de bonne réponse a augmenté de 1,44 pour la localisation de dos OD et de 0,56 pour la localisation de dos OG. Les tests de Wilcoxon ont révélé que cette évolution positive était statistiquement significative pour la localisation de dos OD ( $p=0,011$ ), mais non significative pour la localisation de dos OG ( $p=0,171$ ).

En conclusion, nos résultats montrent que la localisation de dos semble évoluer positivement après la prise en compte des MCL et d'un stéréo-équilibrage. Mais que ces derniers n'ont pas d'impact sur la localisation de face, car elle ne présente pas de changement significatif.

#### II.4. Test d'équilibre de sonie

Lors du test d'équilibre de sonie, les patients ont été invités à indiquer de quel côté le son était le plus fort ou s'il était centré sur une échelle allant de - 5 à + 5 (voir Annexe 3.b). Sachant que - 5 correspond à un son plus fort à gauche et + 5 à un son plus fort à droite. (Les sons étaient diffusés simultanément sur les deux haut-parleurs). Le but étant de se rapprocher le plus possible de 0, c'est-à-dire d'une audition équilibrée entre les deux oreilles. Afin d'évaluer les résultats de cette épreuve, la variation par rapport au centre a été analysée par l'intermédiaire de la valeur absolue des réponses des patients.

La figure 18 ci-dessous indique les réponses des patients à cette épreuve avant et après modification des réglages.



**Figure 18 :** Représentation de la valeur absolue de l'évolution moyenne des scores au test d'équilibre de sonie : avant et après réglages pour l'ensemble des sujets (N=37), le groupe Asymétrique (N=16) et le groupe Symétrique (N=21).



### Pour l'ensemble des sujets :

Une lecture graphique de la figure 18 ci-dessus indique une diminution moyenne de 0,69 au score d'équilibre de sonie. Cette diminution est statistiquement significative après modification des réglages comme l'indique un test de Wilcoxon au risque  $\alpha$  de 0,1 % ( $p = 1,2 \times 10^{-4}$ ).

### Pour le groupe asymétrique :

Tout comme pour l'ensemble du groupe, les scores des sujets asymétriques diminuent au test d'équilibre de sonie. En examinant les résultats de ce dernier, nous observons une décroissance moyenne de 0,95 point dans les scores. Cette baisse est considérée statistiquement significative à la suite de la modification des réglages, comme le détermine un test de Wilcoxon avec un risque  $\alpha$  de 1 % ( $p = 0,005$ ).

### Pour le groupe symétrique :

De la même façon que pour le groupe asymétrique, les scores des sujets symétriques sont en baisse au test d'équilibre de sonie. En analysant les résultats de celui-ci, nous constatons une diminution moyenne de 0,20 point des scores. Cet affaiblissement est considéré statistiquement significatif grâce à un test de Wilcoxon avec un niveau de risque  $\alpha$  de 1 % ( $p = 0,006$ ).

Ainsi, l'ensemble des résultats démontrent clairement que les ajustements apportés (stéréo-équilibre et prise en compte des MCL) ont eu un impact positif, car ils ont diminué l'écart de sensation sonore entre les deux oreilles.

Par conséquent, nous pouvons affirmer que les modifications apportées aux réglages ont eu un impact significatif sur l'équilibre sonore de nos patients.

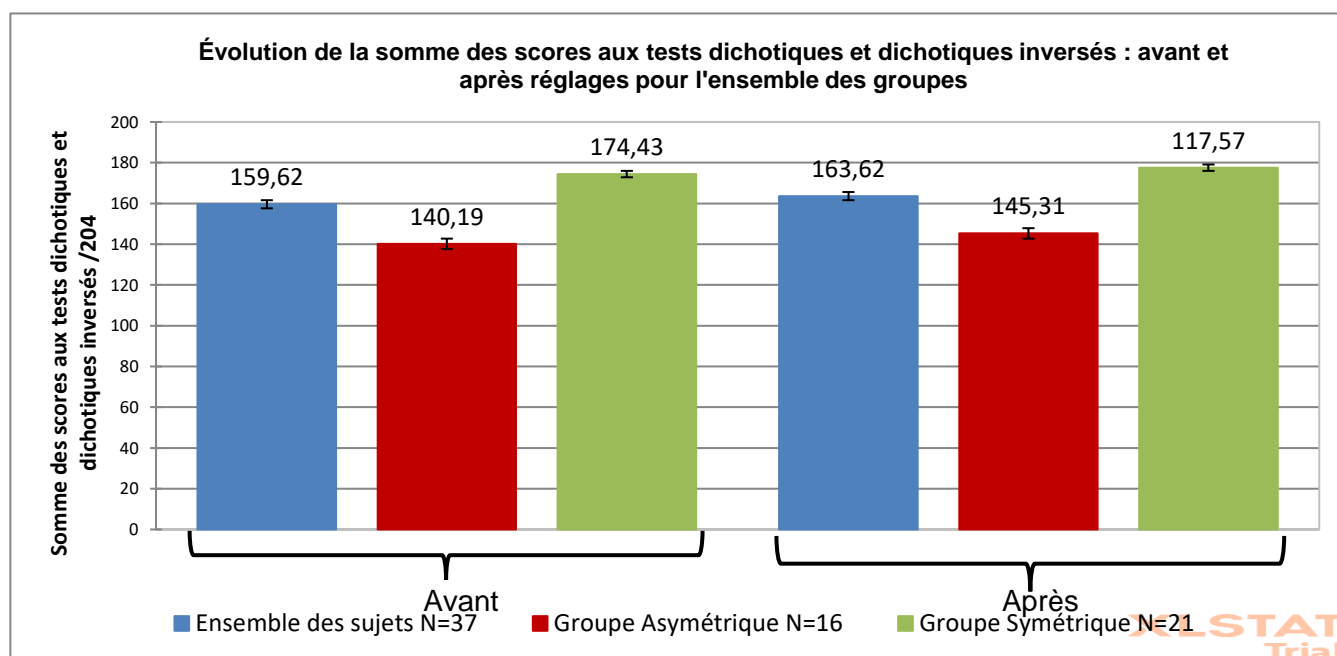
## II.5. Tests dichotiques et dichotiques inversés

Les tests dichotiques et dichotiques inversés permettent de retranscrire l'intelligibilité du patient en milieu bruyant. Plutôt que d'étudier les scores à ces tests, il semble plus judicieux d'analyser la somme de ces deux tests ( $\Sigma D/DI$ ) qui retranscrit l'intelligibilité totale en milieu bruyant. Quant à la différence entre ces deux tests ( $\Delta D/DI$ ), elle évalue l'équilibre entre les deux appareils.

Assurément, plus l'écart entre les tests dichotiques et dichotiques inversés est faible, plus l'écart de compréhension entre les deux oreilles est faible. Donc plus les réglages se rapprochent d'une écoute stéréophonique.

### II.5.a. Somme des tests dichotiques et dichotiques inversés

La figure 19 ci-dessous représente la somme des scores moyens aux tests dichotiques et dichotiques inversés sur l'ensemble des sujets.



**Figure 19 :** Représentation de l'évolution de la somme aux tests dichotiques et dichotiques inversés : avant et après réglages pour l'ensemble des sujets (N=37), le groupe Asymétrique (N=16) et le groupe Symétrique (N=21).

#### Pour l'ensemble des sujets :

La figure 19 signale une augmentation de l'intelligibilité après réglage (+ 4 phonèmes en moyenne). Cependant, un test de Wilcoxon indique que cette augmentation n'est pas significative au risque  $\alpha$  de 5 % car  $p = 0,094$ .

#### Pour le groupe asymétrique :

De la même manière, bien que le graphe 19 illustre une amélioration de l'intelligibilité totale en milieu bruyant d'environ 5 phonèmes après le réglage. Un test de Wilcoxon, confirme que cette amélioration n'est pas statistiquement significative avec un risque  $\alpha$  de 5 % car  $p = 0,339$ .

#### Pour le groupe symétrique :

Là encore, une amélioration de l'intelligibilité totale en milieu bruyant est constatée, car  $\Sigma D/DI$  progresse de 3 phonèmes en moyenne après réglage. Néanmoins, un test de Wilcoxon atteste que cette amélioration n'est pas statistiquement significative avec un risque  $\alpha$  de 5 % car  $p = 0,184$ .

Ainsi, la prise en compte des seuils supraliminaires et la réalisation d'un stéréo-équilibrage n'ont pas eu d'impact significatif sur la compréhension en milieu bruyant chez l'ensemble des sujets.

## II.5.b. Écart entre les tests dichotiques et dichotiques inversés

La figure 20 ci-dessous illustre l'écart des scores moyens aux tests dichotiques et dichotiques inversés.

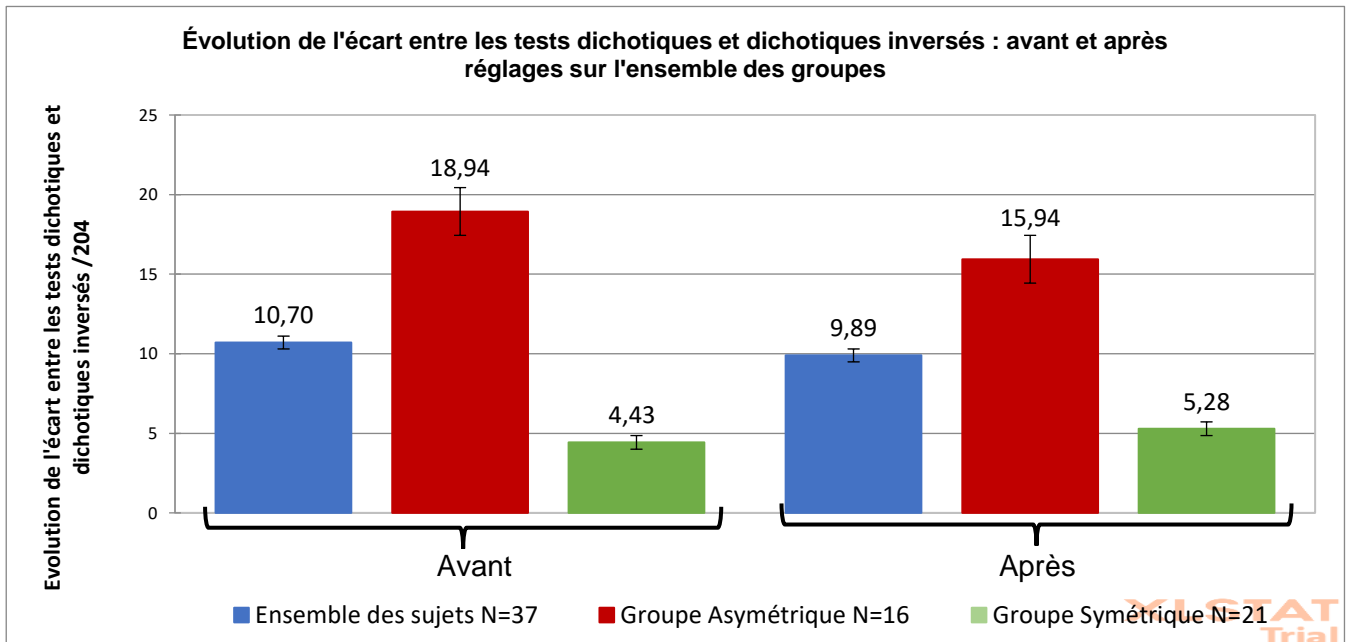


Figure 20 : Représentation de l'évolution de l'écart aux tests dichotiques et dichotiques inversés : avant et après réglages pour l'ensemble des sujets (N=37), le groupe Asymétrique (N=16) et le groupe Symétrique (N=21).

La figure 20 démontre une évolution différente des scores selon la perte auditive du patient. Il semble donc nécessaire de les étudier séparément.

### Pour l'ensemble des sujets :

La figure 20 révèle une diminution de l'écart entre les scores aux tests dichotiques et dichotiques inversés. Mais cet écart n'est pas significativement différent après réglage ( $p = 0,427$  pour  $\alpha = 5\%$  au test de Wilcoxon).

### Pour le groupe asymétrique :

À nouveau, la figure 20 atteste une réduction de l'écart entre les scores aux tests dichotiques et dichotiques inversés. Toutefois, malgré les ajustements effectués, ce décalage n'est pas significativement différent après les réglages, car  $p = 0,338$  pour un niveau de confiance  $\alpha$  de 5 %, lors d'un test de Wilcoxon.

Par conséquent, ces deux tests ne prouvent pas qu'un stéréo-équilibre ou la prise en compte des seuils supraliminaires ont un impact sur la réduction de l'écart de compréhension entre les deux oreilles.

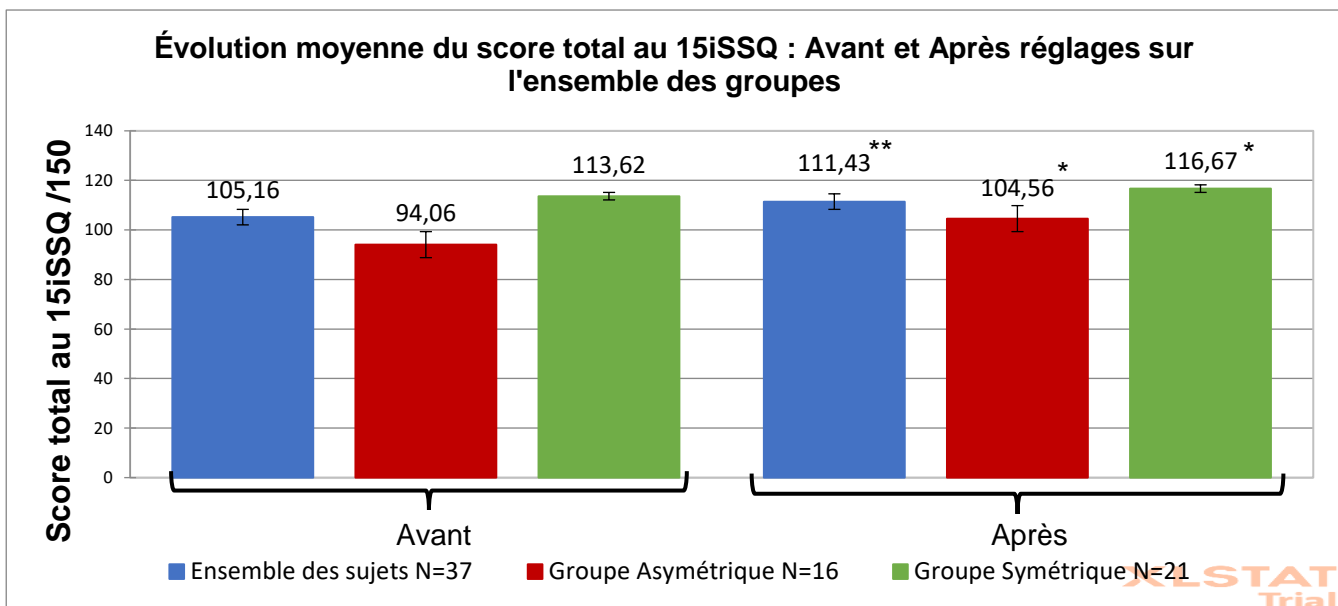
#### Pour le groupe symétrique :

La figure 20 ci-dessus démontre que l'écart entre les scores aux tests dichotiques et dichotiques inversés est similaire avant et après réglages (moins d'un phonème d'écart). Ainsi, cette divergence n'est pas statistiquement significativement différente après les réglages, car  $p = 0,925$  pour  $\alpha = 5 \%$ , lors d'un test de Wilcoxon. Cependant, ce résultat était attendu, car l'étude a été menée sur des pertes symétriques, ce qui signifie qu'il n'y avait pas d'écart à corriger entre les deux oreilles.

### II.6. 15iSSQ

Pour évaluer l'impact de la prise en compte des seuils supraliminaires et la réalisation d'un stéréo-équilibre, les scores des 3 parties du 15iSSQ ont été analysés. En effet, l'item "Audition de la parole", mesure la capacité d'un patient à comprendre une conversation dans un environnement bruyant. La deuxième partie, intitulée "Audition spatiale", évalue la capacité des patients à localiser des sources sonores fixes ou en mouvements. La dernière partie, "Qualité de l'audition", retranscrit l'aptitude des sujets à distinguer différents timbres de voix, de la musique et les sons de la vie courante.

La figure 21 ci-dessous expose l'évolution sur le score total au 15iSSQ avant et après réglages chez l'ensemble des sujets.



**Figure 21 :** Représentation de l'évolution du score total au 15iSSQ : avant et après réglages pour l'ensemble des sujets (N=37), le groupe Asymétrique (N=16) et le groupe Symétrique (N=21).

[Pour l'ensemble des sujets :](#)

Les résultats montrent que les scores sont significativement différents après réglages, notamment sur l'item "Audition de la parole" et "Audition spatiale", ainsi que sur le score total. En effet, les tests statistiques de Wilcoxon ont révélé que les différences sont statistiquement significatives, avec des p-values de 0,002 ; 0,003 et 0,004 respectivement. Les figures 22 à 24 sont fournies pour illustrer ces résultats (Voir Annexe 7).

[Pour le groupe asymétrique :](#)

Tout comme pour l'ensemble du groupe, les participants présentant une perte auditive asymétrique ont également obtenu une amélioration de leurs scores au questionnaire 15iSSQ. En moyenne, les résultats montrent que le score total au questionnaire a augmenté de 10 points. Ce changement est statistiquement significatif, comme l'annonce un test de Wilcoxon avec un risque  $\alpha$  de 5 % et une p-value de 0,025. De plus, des tests de Wilcoxon ont révélé que les augmentations sont significatives sur les items "Audition de la parole" (p=0,041) et "Audition spatiale" (p=0,003).

Ainsi, pour ces deux derniers groupes, les résultats suggèrent que les réglages ont eu un impact positif sur les scores du questionnaire 15iSSQ, en particulier sur les items "Audition de la parole" et "Audition spatiale". En d'autres termes, les patients voient une amélioration de leur capacité à comprendre une conversation dans un environnement bruyant et à localiser des sources sonores fixes ou en mouvements.

#### Pour le groupe symétrique :

La figure 21 ci-dessus suggère que les sujets du groupe Symétrique ont enregistré, eux aussi, une hausse de leur score total au questionnaire 15iSSQ.

Cette figure démontre que les résultats au score total du questionnaire 15iSSQ ont augmenté en moyenne de 3 points. Cette évolution positive après réglage est statistiquement significative, comme l'explique un test de Wilcoxon ( $p=0,050$ ,  $\alpha=5\%$ ). Un second test de Wilcoxon indique que l'augmentation du score au questionnaire 15iSSQ est également significative pour l'item "Audition de la parole" ( $p=0,013$ ).

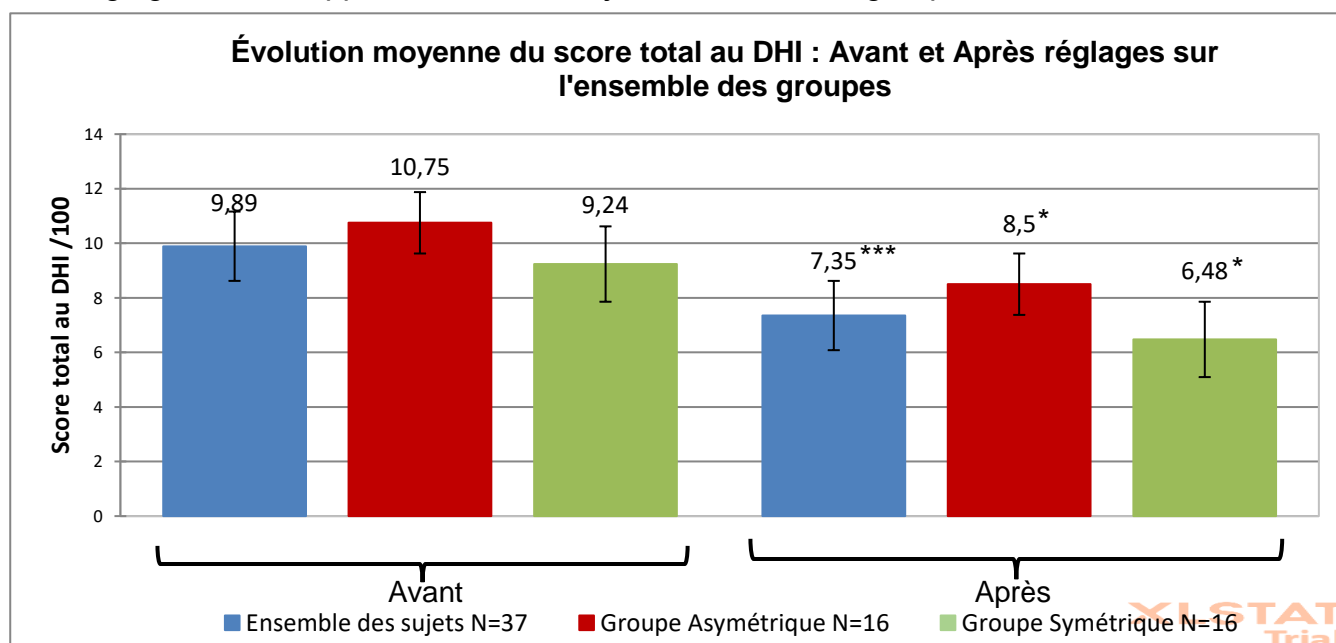
Ces résultats suggèrent un impact positif des réglages sur les scores de l'item "Audition de la parole" et du score total au questionnaire 15iSSQ, pour les patients présentant une surdité symétrique. Ainsi, la prise en compte des MCL et la réalisation d'un stéréo-équilibre améliorent la compréhension de la parole dans un environnement bruyant.

En conséquence, l'ensemble des issues de cette étude valide l'hypothèse selon laquelle les patients souffrant de dissymétrie de l'audition voient un accroissement de leur capacité à comprendre les conversations dans des milieux bruyants et à localiser des sources sonores fixes ou en mouvements après la prise en compte des seuils supraliminaires et la réalisation d'un stéréo-équilibre.

## II.7. DHI

Pour rappel, le DHI évalue le handicap vestibulaire en prenant en compte les aspects de déficience, d'incapacité et de handicap. Il estime la gêne ressentie par le patient dans la réalisation de tâches quotidiennes (item fonctionnel), estime les mouvements et positions qui aggravent le handicap (item physique), et quantifie les répercussions du handicap sur le bien-être émotionnel du patient (item émotionnel).

Le score total au DHI et des trois items ont été analysés. Ainsi, l'histogramme ci-dessous représente l'évolution des moyennes du score total au DHI avant et après réglages selon l'appartenance des sujets aux différents groupes.



**Figure 25 :** Représentation de l'évolution moyenne du score total au DHI : avant et après réglages pour l'ensemble des sujets (N=37), le groupe Asymétrique (N=16) et le groupe Symétrique (N=21).

Cette représentation indique que quel que soit le groupe, les scores au questionnaire DHI ont diminué après les ajustements de réglages. De plus, la diminution du score semble plus importante chez les sujets présentant une perte symétrique. Une baisse des scores au questionnaire DHI est positive, car elle traduit un handicap vestibulaire moins important, c'est-à-dire un meilleur équilibre postural.



### Pour l'ensemble des sujets :

Un test de Wilcoxon révèle que la baisse du score total du DHI est significativement différente après réglages au risque  $\alpha$  de 0,1 % ( $p = 0,001$ ). Cette chute du score total est très impactée par l'item émotionnel où une diminution significative après réglage s'observe. Assurément,  $p = 0,004$  au risque  $\alpha$  de 1 %. (Voir les figures 26 et 27 en Annexe 8 pour les représentations graphiques du score sur l'item émotionnel et total au DHI, avant et après réglages)

### Pour le groupe asymétrique :

De même, les participants présentant une asymétrie ont observé une diminution de leurs résultats au score total sur le questionnaire DHI (voir figure 25 ci-dessus).

Les résultats de l'analyse du questionnaire montrent que le score total décroît en moyenne de 2 points. Ce changement est statistiquement significatif, comme l'indique un test de Wilcoxon avec un risque  $\alpha$  de 5 % et une p-value de 0,021. De plus, un autre test de Wilcoxon annonce un abaissement significatif sur le score de l'item émotionnel ( $p=0,024$ ).

Les résultats de cette étude suggèrent que les réglages ont eu un impact positif sur le handicap vestibulaire, en réduisant les symptômes émotionnels associés. Ainsi, les patients présentant une perte asymétrique ressentent moins de gêne vis-à-vis de leurs troubles vestibulaires, ce qui a eu un impact bénéfique sur leur bien-être émotionnel.

Nous pouvons donc confirmer l'hypothèse selon laquelle un stéréo-équilibre et la prise en compte des MCL permettent d'améliorer l'équilibre postural étant donné que le handicap vestibulaire est moins perçu.

### Pour le groupe symétrique :

Contrairement aux sujets présentant une dissymétrie de l'audition, les personnes ayant des pertes tonales symétriques, voient uniquement une diminution de leur score total au DHI (et non pas à l'item émotionnel comme dans le cas des pertes asymétriques). Cette décroissance s'observe sur la figure 25 ci-dessus.

Un test de Wilcoxon confirme que cette baisse d'environ 2,7 points au score total du DHI après réglage est significative ( $p=0,015$ ). Étant donné que le DHI évalue le handicap vestibulaire en prenant en compte les aspects de déficience, d'incapacité et de handicap. Nous pouvons affirmer que les réglages améliorent l'équilibre postural des patients ayant une audition symétrique.

### II.8. Échelle ABC d'équilibre

L'échelle ABC d'équilibre mesure la confiance d'une personne en sa capacité à effectuer des activités sans perdre l'équilibre. La figure 28 ci-dessous illustre les scores de l'ensemble des patients à ce questionnaire.

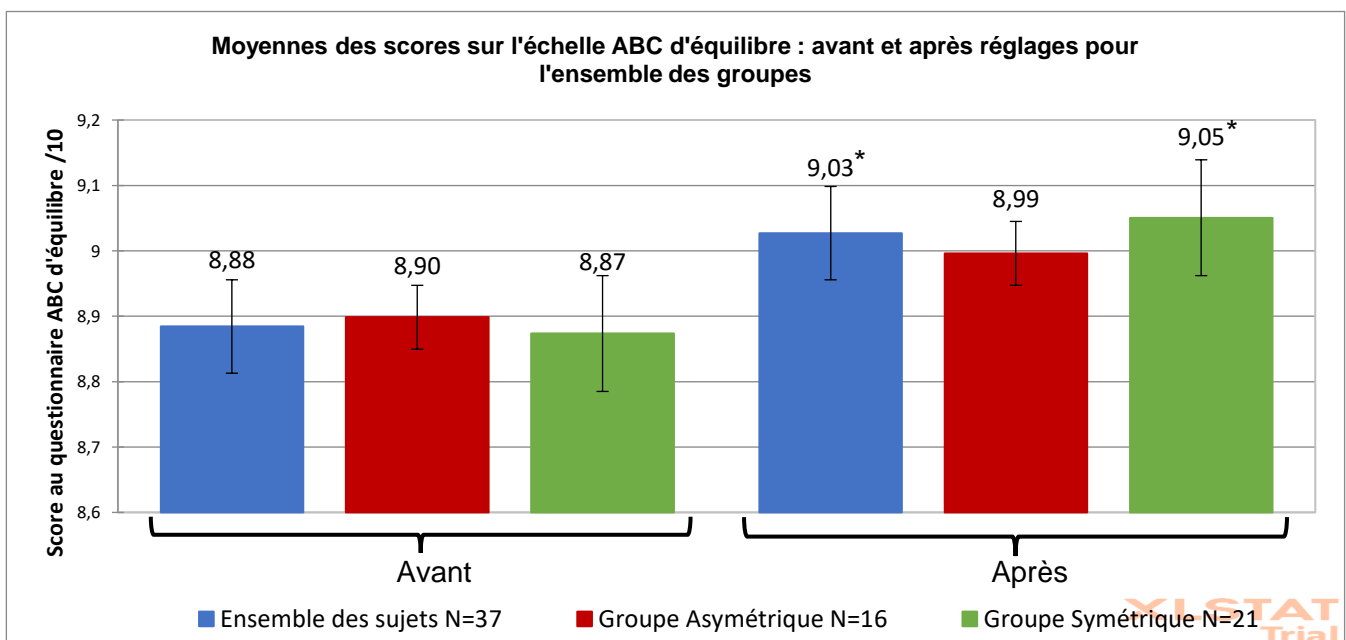


Figure 28 : Représentation de l'évolution moyenne des scores sur l'échelle ABC d'équilibre : avant et après réglages pour l'ensemble des sujets (N=37), le groupe Asymétrique (N=16) et le groupe Symétrique (N=21).

### Pour l'ensemble des sujets :

En moyenne, les données indiquent une augmentation de 0,15 point sur le score total au questionnaire ABC d'équilibre (voir figure 28 ci-dessus). Ce changement est considéré statistiquement significatif selon un test de Wilcoxon avec un niveau de risque  $\alpha$  de 5 % et une p-value de 0,029.

### Pour le groupe asymétrique :

Contrairement à l'ensemble des patients, les sujets présentant uniquement une perte asymétrique ne voient pas de changement statistiquement significatif au questionnaire ABC d'équilibre. En effet, un test de Wilcoxon indique qu'après réglage la différence n'est pas significative, car  $p = 0,365$ .

Assurément, en moyenne, les données indiquent une augmentation de 0,09 point sur le score total au questionnaire ABC d'équilibre, comme l'annonce la figure 28 ci-dessus.

Ainsi, les données ne soutiennent pas l'hypothèse selon laquelle les réglages ont un impact positif sur les scores du questionnaire ABC d'équilibre. Par conséquent, nous ne pouvons pas affirmer que les patients ont un sentiment de confiance accru dans leur équilibre à la suite de la prise en compte des seuils supraliminaires et à la réalisation d'un stéréo-équilibrage.

### Pour le groupe symétrique :

Les sujets ayant une audition symétrique ont enregistré une augmentation significative de leurs scores sur le questionnaire ABC d'équilibre, contrairement à ceux présentant une perte auditive dissymétrique. Un test de Wilcoxon confirme que la différence est statistiquement significative après ajustement, avec un risque  $\alpha$  de 5 % ( $p = 0,033$ ). Cette augmentation peut être visualisée sur la figure 28 ci-dessus, où nous constatons que le score augmente en moyenne de 0,18 point.

Ainsi, les données soutiennent l'hypothèse selon laquelle les réglages ont eu un impact positif sur les scores du questionnaire ABC d'équilibre. Par conséquent, nous pouvons conclure que les patients présentant une perte auditive symétrique ont un sentiment accru de confiance en leur équilibre à la suite de la prise en compte des seuils supraliminaire et à la réalisation d'un stéréo-équilibrage.

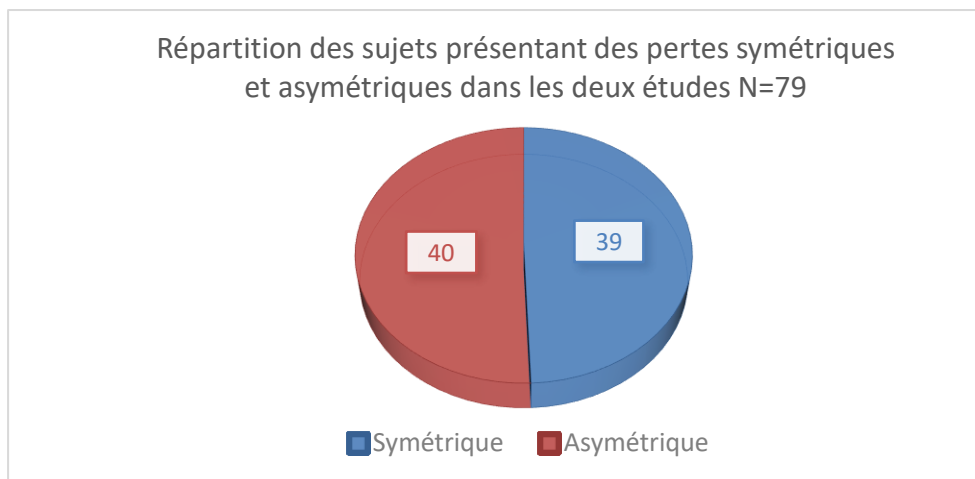
L'an passé, trois de mes camarades ont également travaillé sur ce sujet sous la direction du Professeur GALLEGO Stéphane. C'est pourquoi, avec leur accord, il me semblait intéressant de regarder l'effet des différents réglages sur une plus grande population.

### III. Comparaison des résultats avant et après réglages avec mutualisation de l'étude de l'an passé

Leur protocole, similaire au nôtre, a été mené avec des tests effectués dans des conditions comparables. Toutefois, ils ont examiné 41 sujets avec un écart de seulement 15 jours entre les tests et ont procédé aux réglages immédiatement à partir de J0. Ces derniers incluaient un stéréo-équilibrage en supraliminaire et des ajustements des gains et MPO pour atteindre des niveaux MCL proches de 85 dB HL.

#### III.1. Population d'étude

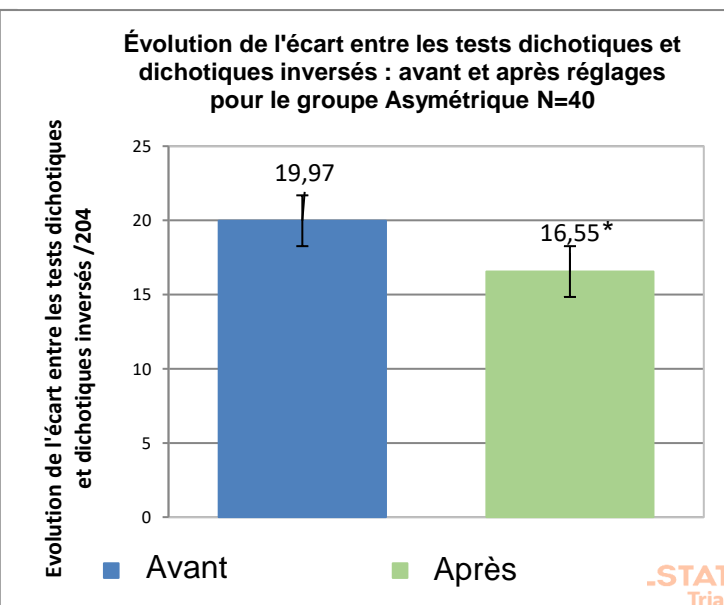
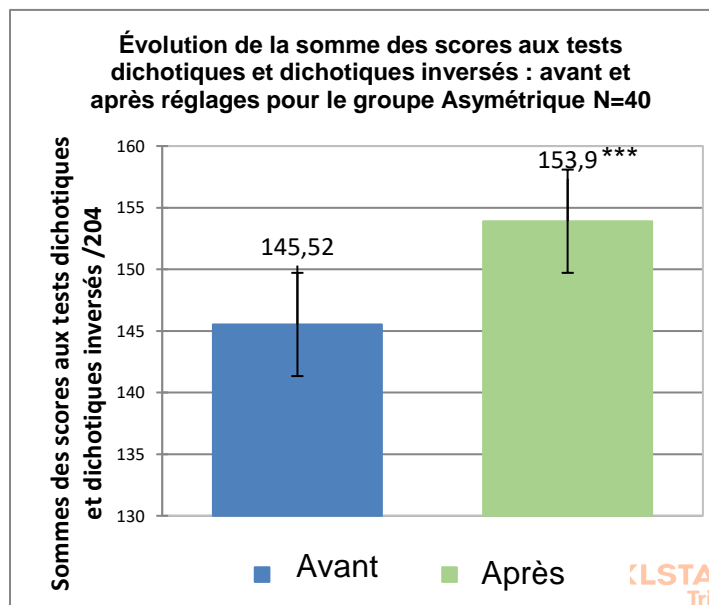
Parmi leurs sujets, 24 présentaient une perte auditive asymétrique et 18 une perte symétrique. Ainsi, en combinant nos résultats à ceux des autres étudiants, nous pouvons étudier 40 patients ayant une dissymétrie de l'audition et 39 ayant une audition symétrique, soit un total de 79 patients. De plus, la totalité de ces sujets portaient leurs appareils auditifs depuis plus de 6 mois et les utilisaient plus de 8 heures par jour.



**Figure 29 :** Graphique circulaire représentant la répartition des sujets présentant des pertes auditives symétriques (N=39) et asymétriques (N=40) lors de la mutualisation des deux études.

### III.2. Tests dichotiques et dichotiques inversés sur les sujets souffrant d'asymétrie de l'audition

Les figures 30 et 31 ci-dessous démontrent que les réglages ont amélioré la compréhension en milieu bruyant et réduit l'écart entre les deux oreilles chez les sujets ayant des pertes auditives asymétriques.



**Figure 30 :** Sommes des scores moyens aux tests dichotiques et dichotiques inversés : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte asymétrique. N=40. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

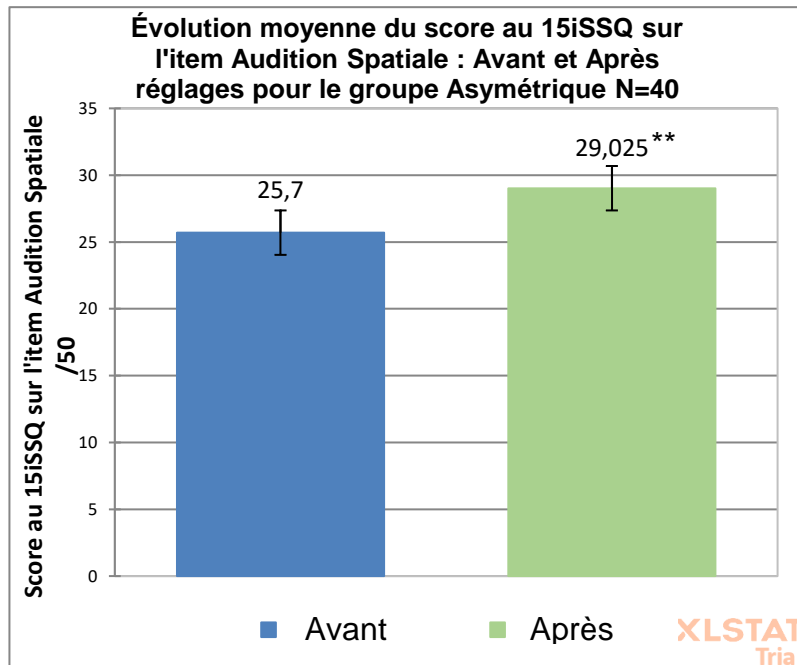
**Figure 31 :** Écart des scores moyens aux tests dichotiques et dichotiques inversés : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte asymétrique. N=40. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

En effet, la figure 30 illustre une amélioration de l'intelligibilité totale en milieu bruyant avec une augmentation moyenne de 8 phonèmes correctement répétés en plus après réglage. (Ce qui correspond à presque 3 mots sur 17 en plus). Un test de Wilcoxon confirme que ce progrès est statistiquement significatif avec un risque  $\alpha$  de 5 % car  $p = 0,4 \times 10^{-3}$ . Ainsi, les réglages ont eu un impact significatif sur la compréhension en milieu bruyant chez les sujets présentant des pertes auditives asymétriques.

La figure 31 quant à elle démontre que l'écart entre les scores aux tests dichotiques et dichotiques inversés est moins important après les réglages, effectivement, il y a en moyenne 3,42 phonèmes de moins d'écart entre les deux oreilles. Ainsi, cette divergence est statistiquement significativement différente après le réglage, car  $p = 0,031$  pour  $\alpha = 5 \%$ , lors d'un test de Wilcoxon. Par conséquent, les réglages ont réduit l'écart entre les deux oreilles. Ce qui est positif, puisque nous souhaitons restaurer une audition stéréophonique.

### III.3. 15iSSQ sur les sujets souffrant d'asymétrie de l'audition

Une analyse de l'ensemble des items du questionnaire 15iSSQ a été menée. Cependant, seule une évolution positive du score sur l'item "Audition spatiale" est significative après réglage. Comme le confirme un test de Wilcoxon, avec  $p = 0,002$ , au risque  $\alpha$  de 1 %. De plus, la figure 32 ci-dessous, illustre une augmentation du score d'environ 3 points sur l'item spatial après réglage. Ceci et le test de Wilcoxon confirment l'hypothèse selon laquelle un stéréo-équilibre et la prise en compte des MCL sont bénéfiques pour la localisation des objets fixes et en mouvements.

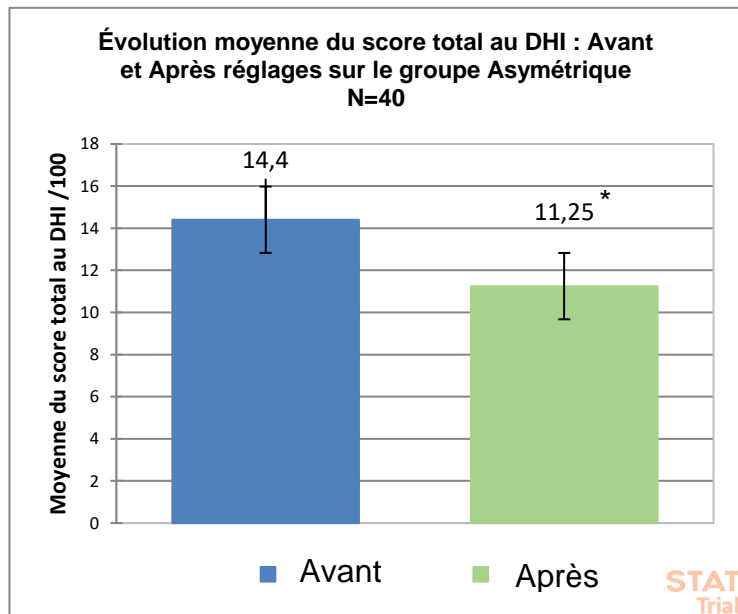


*Figure 32 : Moyenne du score au 15iSSQ sur l'item Audition Spatiale : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte asymétrique (N=40). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.*

#### III.4. DHI sur les sujets souffrant d'asymétrie de l'audition

Les résultats de l'analyse du questionnaire DHI marquent une réduction du score total en moyenne de 3,15 points, qui est confirmée par la figure 33 ci-dessous et qui est statistiquement significative selon un test de Wilcoxon avec un risque  $\alpha$  de 5% (p-value de 0,014). En outre, un test de Wilcoxon a établi une baisse significative du score physique (p=0,020).

En conclusion, les réglages ont eu un impact positif sur le handicap vestibulaire en réduisant les symptômes physiques associés. Ainsi, le stéréo-équilibre et la prise en compte des MCL, ont permis d'améliorer l'équilibre postural et l'aspect physique lié au handicap vestibulaire. Les patients ont donc plus d'équilibre et ressentent moins de gêne pour réaliser des mouvements du quotidien.



*Figure 33 : Moyennes du score total au DHI : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte asymétrique (N=40). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.*

(L'ensemble des résultats statistiques, notamment sur l'ensemble des sujets (N=79) et sur le groupe symétrique (N=39) sont disponibles à l'annexe 9.)



## PARTIE IV : DISCUSSION

L'objectif de cette étude est de vérifier l'efficacité de l'équilibrage sonore supraliminaire et d'évaluer son impact sur la localisation des sources sonores, la compréhension dans le bruit et l'équilibre postural chez les patients atteints de perte auditive asymétrique.

### I.1. Test-retest

L'ensemble des tests statistiques effectués pour évaluer l'effet retest n'ont pas été significativement différents lors du retest. Cependant, cette absence de significativité est positive puisqu'elle traduit l'absence de l'effet retest. C'est-à-dire que l'anticipation du déroulement des épreuves, la reconnaissance des éléments du test, la familiarité avec le testeur, l'apprentissage procédural et les différentes caractéristiques individuelles [69] [70] [71] [72] n'ont pas influencé les résultats des tests.

### I.2. Réduction de l'écart entre les deux oreilles

L'évaluation du test d'équilibre de sonie a obtenu des résultats significatifs pour l'ensemble des groupes après réglages. Ce constat confirme une réduction de l'écart de sensation auditive entre les deux oreilles. Ce qui est une indication d'une amélioration de l'audition stéréophonique.

En ce qui concerne le test comparant l'écart des scores aux tests dichotiques et dichotiques inversés, les résultats n'ont pas montré de significativité statistique.

Néanmoins, lorsque le nombre de sujets testés a été augmenté, comme ce fut suggéré par le regroupement avec l'autre étude, une significativité statistique a été observée chez les patients souffrant de dissymétrie de l'audition.

Ainsi, il est important de noter que le nombre limité de sujets testés peut être considéré comme une limite de l'étude. De plus, selon Hirsh, une différence intra-aurale de seuils inférieurs à 15 dB serait nécessaire pour restaurer complètement l'audition stéréophonique [15], ce qui peut également expliquer l'absence de significativité dans nos résultats.

Cependant, après avoir regroupé les sujets des deux études, les résultats confirment que les réglages effectués ont permis de réduire l'écart de sensation auditive entre les deux oreilles et d'améliorer l'audition stéréophonique.

De plus, la réduction de l'écart entre les deux oreilles doit permettre un meilleur équilibre postural, étant donné que l'information délivrée par les deux cochlées est plus proche.

### 1.3. Équilibre postural

L'équilibre postural des patients a été quantifié au travers du questionnaire DHI qui évalue le handicap vestibulaire. Les ajustements apportés aux réglages ont permis une nette diminution du score total au questionnaire DHI (après réglage,  $p = 0,001$  pour le score total au DHI sur l'ensemble des sujets). Cela prouve que les réglages effectués (stéréo-équilibrage et prise en compte des MCL) ont significativement amélioré l'équilibre des patients. Cette observation souligne l'importance de l'audioprothésiste pour effectuer des ajustements personnalisés et efficaces, car ce ne sont pas les appareils auditifs en eux-mêmes, mais des réglages appropriés qui améliorent l'équilibre. Ainsi, les assistants d'écoute et les audioprothésistes qui se contentent d'empirisme contrôlé sont inefficaces.

De plus, l'item émotionnel du DHI est significativement inférieur après réglage. Par conséquent, les patients ressentent moins de gêne vis-à-vis de leurs troubles vestibulaires. Les réglages ont donc eu un impact bénéfique sur leur bien-être émotionnel. (Voir Annexe 8 les représentations graphiques du score sur l'item émotionnel et total au DHI, avant et après réglages). En outre, lors de la mutualisation des patients, les résultats suggèrent également une diminution significative du score sur l'item physique du DHI.

En conclusion, le stéréo-équilibrage et la prise en compte des MCL ont eu un impact positif sur le handicap vestibulaire en réduisant les symptômes physiques associés. Les patients ont donc plus d'équilibre et ressentent moins de gêne pour réaliser des mouvements du quotidien.

Ces résultats sont confirmés par l'échelle ABC d'équilibre dont les scores sont statistiquement meilleurs après réglages lorsque l'ensemble des sujets sont testés. Cependant, ces résultats ne sont pas statistiquement différents chez les sujets asymétriques. Cette absence de significativité peut être expliquée par la revue d' A. Wildschut qui indique que l'utilisation de l'échelle ABC n'est pas conseillée pour les personnes qui ont une compréhension limitée de leurs problèmes d'équilibre [74] ou qui ne cherchent pas activement à améliorer leur confiance en leur équilibre. [75]

#### I.4. MCL

En ce qui concerne les résultats du test des seuils MCL tonals, seules les fréquences graves et médiums sont différentes après les réglages. Les MCL étant plus bas pour ces fréquences, cela signifie que les gains sur les sons moyens et forts ont été augmentés pour ces bandes de fréquences. Cette augmentation peut être considérée comme positive, car selon une étude de COLIN et al, les fréquences entre 1 000 et 3 000 Hz sont les plus efficaces pour la compréhension de la parole chez les personnes ayant une audition normale, tandis que les fréquences entre 500 et 1 000 Hz sont les plus appropriées pour les personnes atteintes d'une perte auditive. [76]

Cependant, la baisse des MCL peut entraîner des biais. En effet, selon une étude américaine [42], la plainte principale des patients est que les appareils auditifs sont "trop forts". Néanmoins, cette gêne n'est pas reflétée dans les questionnaires, ni dans les questions posées au début de chaque rendez-vous. Ainsi, cette baisse des MCL peut s'expliquer par l'appréhension des patients face aux sons forts. Ces derniers répondaient peut-être avant la limite pour se protéger des sons agressifs.

Les MCL tonals aigus n'ont pas été significativement différents après les réglages, ce qui peut être expliqué par la difficulté de changer la perception des sons aigus sans causer d'inconfort ou une sensation de parole métallique pour les patients. De plus, les MCL sont reproductibles à un degré de 3,3 dB selon Elberling, ce qui peut expliquer la faible variation observée dans nos résultats. [51]

Il convient également de noter que l'opérateur joue un rôle crucial dans la délivrance de la consigne au patient, car selon Beattie, la consigne et l'opérateur jouent un rôle critique, car ils peuvent fortement influencer les seuils subjectifs de confort. [77] Il est donc important de prendre en compte ce facteur dans l'analyse des résultats.

Bien que les seuils MCL tonals aient diminué, les seuils MCL pour un signal de parole n'ont pas connu d'augmentation significative malgré les ajustements de réglage. Ceci démontre l'importance de vérifier l'écoute à haute intensité d'un signal de parole à large bande, car il y a une différence de perception de l'intensité par rapport à un signal tonal. De plus, le signal de parole est plus en adéquation avec notre vie quotidienne que le signal tonal.

L'absence de significativité de nos résultats pour les tests des MCL vocaux peut être due à la nature vibratoire des fréquences graves. En raison de la nature vibratoire des fréquences graves, l'écoute à haute intensité de voix masculines peut rapidement devenir inconfortable. Assurément, la fréquence fondamentale des voix d'hommes se situe généralement entre 80 et 140 Hz. De même, pour les voix féminines, avec une fréquence fondamentale située entre 180 et 240 Hz, une intensité élevée peut également provoquer de l'inconfort. Il est donc possible que ces limites soient à l'origine des résultats des tests de MCL vocaux.

### I.5. Localisation sonore

Les résultats au test de localisation montrent que la localisation de dos semble évoluer positivement uniquement du côté droit après la prise en compte des MCL et d'un stéréo-équilibrage. Mais que ces derniers n'ont pas d'impact sur la localisation de face, car elle ne présente pas de changement significatif notable.

Pour Decroix et Dehaussy, la restauration de l'orientation auditive est constante et immédiate pour les patients présentant une asymétrie inférieure à 15 dB. Tandis qu'elle est variable pour les autres. [4] Ceci pourrait expliquer l'absence de significativité au test de localisation. De plus, après une étude approfondie des résultats, un seul des patients voit sa localisation passée de 0 à 9. C'est donc ce patient qui doit rendre le résultat significatif pour la localisation de dos OD.

La localisation est également évaluée à travers l'item "Audition spatiale" du questionnaire 15iSSQ. Les résultats ont montré une significativité statistique, en particulier chez les patients présentant une perte asymétrique. Ces résultats confirment l'hypothèse selon laquelle les patients atteints de dissymétrie de l'audition bénéficient d'une capacité accrue à localiser les sources sonores, que ce soient des sources fixes ou en mouvements, après ajustement des seuils supraliminaires et d'un stéréo-équilibre.

Cette réhabilitation d'une des fonctions de l'audition binaurale est un point positif, mais il est important de se demander si les autres facultés de l'audition binaurale, telles que la compréhension de la parole dans le bruit, ont par ailleurs été améliorées.

#### I.6. Amélioration de l'intelligibilité en milieu bruyant

Dans le cadre de cette étude, l'intelligibilité en milieu bruyant a été évaluée à l'aide du questionnaire 15iSSQ, notamment à travers les items "Audition de la parole" et "Qualité de l'audition".

Pour rappel, ce dernier évalue la capacité des sujets à distinguer différents timbres de voix, de la musique et les sons de la vie courante. Cependant, les résultats n'ont pas été jugés significativement différent après réglage. Néanmoins, cette observation pourrait être expliquée par une limite de l'étude quantitative. En effet, lors d'analyses statistiques, il est difficile de mettre en évidence une amélioration significative lorsque les valeurs sont proches des extrêmes. Ce qui est le cas ici, car les scores de cet item étaient déjà très élevés avant les ajustements ( $\mu_{av} = 42,76 / 50$ ).

Après les réglages, les résultats de l'item "Audition de la parole" ainsi que le score total du questionnaire 15iSSQ ont été améliorés de manière statistiquement significative. L'item "Audition de la parole" évalue la capacité d'un patient à comprendre une conversation dans un environnement bruyant. Ainsi, les issues quantitatives suggèrent que le stéréo-équilibre et la prise en compte des MCL permettent une meilleure intelligibilité de la parole dans les environnements bruyants.

Cette conclusion est également étayée par la somme des scores des tests dichotiques et dichotiques inversés ( $\Sigma D/DI$ ), qui reflètent l'intelligibilité globale en milieu bruyant. Assurément, le score  $\Sigma D/DI$  est significativement augmenté après réglage, comme le suggèrent les résultats lors de la mutualisation de l'étude. En effet, bien que le score  $\Sigma D/DI$  ne soit pas significatif avec un échantillon de 16 patients, il le devient avec un échantillon de 40 patients. Là encore, la faiblesse de la population testée constitue une limite de cette étude.

En résumé, les analyses statistiques suggèrent une amélioration de l'intelligibilité en milieu bruyant grâce à l'équilibrage stéréophonique et à la prise en compte des MCL.

### 1.7. Abandons et difficultés rencontrées

Dans cette étude, 6 des 43 patients ont préféré abandonner, quatre en raison de la fatigue engendrée par les tests; un à la suite d'une crise d'acouphène liée à l'appréhension des changements sur les réglages et le dernier parce qu'il a perdu l'un de ses appareils auditifs.

Malgré cela, la majorité des patients ont apprécié les rendez-vous qui leur permettaient d'approfondir leur compréhension de leurs réglages et des tests réalisés. Néanmoins, certains patients n'ont pas ressenti de différence malgré une hausse significative de leurs scores aux différents tests et questionnaires.

L'une des difficultés principales était liée à la frustration des patients qui ne recevaient pas de nouveaux réglages à J15. C'est pourquoi, dans une étude ultérieure, il serait intéressant de réaliser les changements désirés par les patients et d'effectuer un nouveau stéréo-équilibre à J15, étant donné que l'écart entre les deux oreilles ne peut être équilibré en une seule fois, notamment chez les patients souffrant de dissymétrie de l'audition.



## CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif de vérifier l'efficacité de l'équilibrage de la sonie en supraliminaire et d'en évaluer les conséquences sur la localisation des sources sonores, la compréhension dans le bruit et l'équilibre postural chez les sujets souffrant d'une perte asymétrique.

Les résultats affirment que la réalisation d'un stéréo-équilibrage améliore significativement l'intelligibilité en milieu bruyant, réduit l'écart entre les deux oreilles pour une meilleure localisation et un meilleur équilibre postural, tout en diminuant le handicap vestibulaire et en améliorant l'état émotionnel lié au handicap.

La mesure des MCL s'est également révélée utile pour corriger certains réglages qui pourraient entraîner le refus du port des appareils auditifs en raison d'une fréquence gênante. Ainsi, en intégrant le stéréo-équilibrage et la mesure des MCL dans les pratiques courantes des audioprothésistes, les patients pourraient bénéficier d'une réhabilitation auditive plus complète et adaptée à leurs besoins.

Cependant, pour une étude future, il serait intéressant d'examiner davantage l'impact du stéréo-équilibrage sur l'équilibre postural au travers d'exercices de posture tels que le tandem ou le test unipodal, plutôt que de se contenter d'une retranscription de l'équilibre à travers des questionnaires comme nous l'avons fait. Une telle étude permettrait de mieux comprendre les bénéfices du stéréo-équilibrage sur l'équilibre postural et de proposer des protocoles de réhabilitation plus spécifiques.

En résumé, l'équilibrage de la sonie en supraliminaire et la mesure des MCL sont des techniques efficaces pour améliorer la qualité de vie des patients atteints de perte auditive asymétrique. Leur intégration dans les pratiques courantes des audioprothésistes pourrait contribuer à une meilleure réhabilitation auditive pour ces patients.

## LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1 : Représentation des ITD en fonction de différents angles de provenance de la source. [11]

Figure 2 : Représentation de l'effet d'ombre de la tête. [11]

Figure 3 : Représentation de l'effet d'ombre de la tête pour des fréquences aiguës à gauche et pour des basses fréquences à droite. [11]

Figure 4 : Graphique représentant l'évolution de la différence en dB entre les seuils masqués monauraux et binauraux de la voix en fonction du niveau de sensation du bruit masquant.

Figure 5 : À gauche, représentation de la dynamique auditive d'un normo-entendant, comprise entre la ligne rouge supérieure et inférieure. À droite, il s'agit de la même illustration appliquée à un malentendant. [36]

Figure 6 : « Transfert des sons dans la dynamique résiduelle ». À gauche, représentation de la dynamique auditive d'un normo-entendant, comprise entre la ligne rouge supérieure et bleue inférieure. À droite, il s'agit de la même illustration appliquée à un malentendant. L'audioprothésiste doit retranscrire les sons faibles (en orange sur la figure), moyens (bleu) et forts (blanc) présent dans la dynamique auditive du normo-entendant dans celle du malentendant. [37]

Figure 7 : Représentation de l'épreuve de localisation spatiale de Dehaussy.

Figure 8 : « S » (en rouge) est le haut-parleur qui diffuse le signal de parole et « B » (en noir) est la source du bruit. L'oreille la plus déficiente est représentée en noire. [53]

Figure 9 : Application pratique de l'épreuve de Dehaussy. La représentation de l'espace sonore avant appareillage est signalée en bleu sur la figure. Après appareillage en rouge. [52]

Figure 10 : Graphique circulaire représentant la répartition des sujets selon leur sexe. N=37 (N= Nombre de sujets)

Figure 11 : Représentation de la différence de PTA OD/OG en fonction du numéro des patients.

Figure 12 : Graphique circulaire représentant la répartition des sujets selon leur type de perte auditive. N=37

Figure 13 : Configuration des Haut-parleurs (HP) et du patient lors du test de localisation.

Figure 14 : Répartition des sujets en fonction des différents groupes. N=24 dans le groupe 1 et N=13 dans le groupe 2.

Figure 15 : Moyennes des MCL tonals : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte asymétrique. N=16. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 16 : Moyennes des MCL vocaux : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte asymétrique. N=16. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 17 : Score au test de localisation : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte asymétrique. N=16. LocF-OD correspond à la localisation de face OD, LocF-OG à la localisation de face OG, LocD-OD illustre la localisation de dos OD et pour finir LocD-OG représente la localisation de dos OG. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 18 : Représentation de la valeur absolue de l'évolution moyenne des scores au test d'équilibre de sonie : avant et après réglages pour l'ensemble des sujets (N=37), le groupe Asymétrique (N=16) et le groupe Symétrique (N=21).

Figure 19 : Représentation de l'évolution de la somme aux tests dichotiques et dichotiques inversés : avant et après réglages pour l'ensemble des sujets (N=37), le groupe Asymétrique (N=16) et le groupe Symétrique (N=21).

Figure 20 : Représentation de l'évolution de l'écart aux tests dichotiques et dichotiques inversés : avant et après réglages pour l'ensemble des sujets (N=37), le groupe Asymétrique (N=16) et le groupe Symétrique (N=21).

Figure 21 : Représentation de l'évolution du score total au 15iSSQ : avant et après réglages pour l'ensemble des sujets (N=37), le groupe Asymétrique (N=16) et le groupe Symétrique (N=21).

Figure 22 : Moyennes des scores au 15iSSQ sur l'item Audition de la parole : avant et après réglages sur l'ensemble des sujets (N=37). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 23 : Moyennes des scores au 15iSSQ sur l'item Audition Spatiale : avant et après réglages sur l'ensemble des sujets (N=37). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 24 : Moyennes du score total au 15iSSQ : avant et après réglages sur l'ensemble des sujets (N=37). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 25 : Représentation de l'évolution moyenne du score total au DHI : avant et après réglages pour l'ensemble des sujets (N=37), le groupe Asymétrique (N=16) et le groupe Symétrique (N=21).

Figure 26 : Moyennes du score total au DHI : avant et après réglages sur l'ensemble des sujets (N=37). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 27 : Moyennes des scores au DHI sur l'item émotionnel : avant et après réglages sur l'ensemble des sujets (N=37). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 28 : Représentation de l'évolution moyenne des scores sur l'échelle ABC d'équilibre : avant et après réglages pour l'ensemble des sujets (N=37), le groupe Asymétrique (N=16) et le groupe Symétrique (N=21).

Figure 29 : Graphique circulaire représentant la répartition des sujets présentant des pertes symétriques (N=39) et asymétriques (N=40) lors de la mutualisation des deux études.

Figure 30 : Sommes des scores moyens aux tests dichotiques et dichotiques inversés : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte Asymétrique. N=40. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 31 : Écart des scores moyens aux tests dichotiques et dichotiques inversés : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte Asymétrique. N=40. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 32 : Moyennes du score au 15iSSQ sur l'item Audition Spatiale : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte asymétrique (N=40). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Figure 33 : Moyennes du score total au DHI : avant et après réglages sur les sujets souffrant de perte Asymétrique (N=40). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

Tableau 1 : Tableau représentant l'échelle de sensation sonore des patients lors de la recherche des N.L.C.C. [50]

Tableau 2 : Tableau représentant les valeurs de référence obtenues par Voltz lors de la recherche des N.L.C.C. [50]

## Bibliographie

1. CNA, (2007). Le contrôle immédiat d'efficacité prothétique – B : Mesures subjectives : Stéréaudiométrie in L'appareillage de l'adulte : le contrôle d'efficacité prothétique. Tome 3. Précis d'audioprothèse. Les éd. du collège national d'audioprothèse, P.131-132
2. Rembaud, Frédéric & Fontan, Lionel & Füllgrade, Christian. L'audiométrie vocale en France ; état des lieux [Speech audiometry in France : Current clinical practices]. Cahiers de l'Audition, janvier 2017, vol. 30, n°6, p.22-25
3. Decroix, G., & Dehaussy, J. (1966). Restauration de l'audition binaurale par appareillages stéréophoniques. Stéréaudiométrie, mesure de l'audition binaurculaire. Revue de Laryng., Otol., Rhinol. N°Spécial de Phono-Audiol., N°9-10, 747,764.
4. Decroix, G., & Dehaussy, J. (1966). Restauration de l'audition binaurale par appareillages stéréophoniques. Acta Oto-Rhino Laryng. Belgica, t.20, Fasc.2
5. Vannson N, James C, Fraysse B, Strelnikov K, Barone P, Deguine O, et al. Quality of life and auditory performance in adults with asymmetric hearing loss. Audiol Neurootol 2015;20 Suppl 1:38–43.
6. Vannson et al., 2015, Thèse en vue de l'obtention du Doctorat de l'université de Toulouse ; Surdité unilatérale : approches psychoacoustique, qualité de vie et neuroimagerie fonctionnelle par IRMf.
7. Beraha J-P, Bouaziz P, Casenave A, Cohen H, Deys S, Lacombe B, Mateu P, Trogneux J-P. 2004. La prothèse auditive, Les monographies Amplifon n  33, Paris, pp. 28–31.
8. Deys S, Lermigeaux S. 2004. L'audition binaurale et l'appareillage st reophonique., Les monographies Amplifon n 36, Paris, pp.39-66.
9. W. E. Feddersen, T. T. Sandel, D. C. Teas and L. A. Jeffress, Localization of high-frequency tones, Journal of the Acoustical Society of America 29, 988–991(1957)
10. Avan P, Giraudet F, B ki B. Importance of binaural hearing. Audiol Neurootol. 2015;20 Suppl 1:3-6. doi: 10.1159/000380741. Epub 2015 May 19.
11. COLIN D. (2020) Audition spatiale et avantages de l'audition binaurale – Psychoacoustique Acoustique - Cours de 1 re Année d'Audioprothèse, Faculté de Médecine de Lyon 1.
12. Avan P. Mécanismes neurophysiologiques de la binauralit , Sciences & techniques, GEORRIC, Connaissances Surdités n 15, 2006
13. Strutt J.W. (Lord Rayleigh) (1876). "On our perception of the direction of a source of sound," *Proced. Music. Assoc.* 2, 75-84
14. Gallego, Stéphane. (2008). Localisation et Audition Binaurale. Effets des dommages cochléaires sur la localisation des sons et l'audition binaurale.
15. Hirsch IJ. Influence of interaural phase on interaural summation and inhibition. *Jour. Acoust. Soc. Amer.*, 1948; 205, 36-44.
16. Licklider J.C.R. The influence of interaural phase relations upon the masking of speech by white noise. *Jour. Acoust. Soc. Amer.*, 1948, 20, 150-159.
17. Hirsh I. J. Binaural Summation and Interaural Inhibition as a Function of the Level of Masking Noise, *The American Journal of Psychology*, Vol. 61, No. 2 (Apr., 1948), pp. 205-213.
18. CNA, (2007). Le contrôle imm diat d'efficacité prothétique – B : Mesures subjectives : St reaudiom trie in L'appareillage de l'adulte : le contrôle d'efficacité prothétique. Tome 3. Précis d'audioprothèse. Les  d. du collège national d'audioprothèse, P.120-123 et P.167-188
19. Fletcher H. and Munson W. A. , "Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation", *The Journal of the Acoustical Society of America* 5, 82-108 (1933)

20. Chavasse P. 1952. Acoustique physique et psychophysique de l'audition. La surdité. Cours international d'Audiologie clinique. Maloine.
21. Noble, W., and Gatehouse, S. Interaural asymmetry of hearing loss, speech, spatial and qualities of hearing scale (ssq) disabilities, and handicap. *Int J Audiol* 43, 2 (2004), 100–14.
22. American Academy Otolaryngology-Head Neck Surgery. Otologic Referral Criteria for Occupational Hearing Conservation Programs. Washington, DC: 1997.
23. MERLUZZI F., ORSINI S., DI CREDICO N., MARAZZI P.: Rumore ed udito in ambiente di lavoro, Franco Angeli Editore, 1999.
24. MERLUZZI F.: Linee guida per la prevenzione dei danni uditivi da rumore in ambiente di lavoro, Tipografia PIME Editrice Pavia, 2003.
25. Sabini P., Sclafani A.P. 2000. Efficacy of serologic testing in asymmetrical sensorineural hearing loss. *Otolaryngol Head Neck Surgery*; 22:469-476.
26. Colin D., Girod A., Gallego S. Diplacousie et surdité asymétrique. *ORL Autrement*, février 2012, P.1-10.
27. MARTIN V. Intérêt de l'appareillage en stéréobicos pour une surdité bilatérale asymétrique. *Les Cahiers de l'Audition*, Novembre/Décembre 2021, vol. 34, n°6, P.20-27.
28. AW. MILLS, On the minimum audible angle, *J Acoust Soc Am* 30, 1958, p.237-246
29. Rønne FM, Laugesen S, Jensen NS, Pedersen JH. Minimum Audible Angles Measured with Simulated Normally-Sized and Oversized Pinnae for Normal-Hearing and Hearing-Impaired Test Subjects. *Adv Exp Med Biol*. 2016;894:207-217. doi: 10.1007/978-3-319-25474-6\_22.
30. Lina-Granade G., Gallego S., Thai-Van Hung, Truy É. Appareillage auditif conventionnel par voie aérienne. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Oto-rhinolaryngologie, 20-185-C-15, 2010.
31. Newman CW, Jacobson GP, Hug GA, Sandridge SA. Perceived hearing handicap of patients with unilateral or mild hearing loss. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1997;106:210-4.
32. Arlinger S, Gatehouse S, Bentler RA, Byrne D, Cox RM, Dirks DD, Humes L, Neuman A, Ponton C, Robinson K, Silman S, Summerfield AQ, Turner CW, Tyler RS, Willott JF. Report of the Eriksholm Workshop on auditory deprivation and acclimatization. *Ear Hear*. 1996 Jun;17(3 Suppl):87S-98S.
33. Silverman CA, Emmer MB. Auditory deprivation and recovery in adults with asymmetric sensorineural hearing impairment. *J Am Acad Audiol*. 1993 Sep;4(5):338-46.
34. Silman S., "Late-onset auditory deprivation: Effects of monaural versus binaural hearing aids", *The Journal of the Acoustical Society of America* 76, 1357-1362 (1984).
35. Lurquin P., Dr Wiener V., Dr Thill MP., Delacressonnière C., Lambert O., Maillot A., —L'hyperacousie : un symptôme banal du patient désafférenté ?||, *les cahiers de l'audition*, Vol.16, n°4, juillet/aout 2013.
36. BAILLY MASSON E. La compression. Gestion des gains et niveaux de sortie. Impacts sur la dynamique et l'enveloppe temporelle. Cours de 2ème année d'Audioprothèse, Faculté de Lyon I. Version octobre 2021. Diapo 3-4.
37. Gallego S., La dynamique auditive, Cours de 2ème année d'Audioprothèse, Faculté de médecine de Lyon 1, 2020
38. Muller et Ruth H. Gustav Mueller and Ruth A. Bentler, Fitting Aids Using Clinical Measures of Loudness Discomfort Levels: An Evidence-Based Review of Effectiveness, volume 16 (n°7), *Journal of the American Academy of Audiology* (June 2005)
39. Franks JR, Beckmann NJ. (1985) Rejection of hearing aids: attitudes of a geriatric sample. *Ear Hear* 6:161–166.

40. Kochkin S. (2000) MarkeTrak V: consumer satisfaction revisited. *Hear J* 53:38–55.
41. Kochkin S. (2002) 10-year customer satisfaction trends in the US hearing instrument market. *Hear Rev* 10(9):14, 18–25, 26.
42. Jenstad LM, Van Tasell DJ, Ewert C. (2003) Hearing aid troubleshooting based on patients' descriptions. *J Am Acad Audiol* 14:347–360
43. SFA, (2006). Guide des bonnes pratiques en audiométrie de l'adulte. Société Française d'Audiologie.
44. CNA, (1977). Epreuves Tonales - Applications in L'appareillage de l'adulte : le bilan d'orientation prothétique. Tome 1. Précis d'audioprothèse. Les éd. du collège national d'audioprothèse, P.111
45. CNA, (1999). Présentation détaillée du C.T.M in L'appareillage de l'adulte : le choix prothétique. Tome 2. Précis d'audioprothèse. Les éd. du collège national d'audioprothèse, P.462-465.
46. Balbi, C. M. R. (1935) Quoted in Lybarger, S. F. 1978. Selective amplification, a review and evaluation. *J.Am.Aud. Soc.* 3, 259.
47. WATSON N., KNUDSEN V.O (1940) Selective amplification in hearing aids. *J. Acoust. Soc. Am.*, 11, 406-419.
48. Le Her F. (1984) La méthode CTM (Comfortable Transfer Matrix) ou Méthode de la Matrice de Transfert. Cahiers du CENECA. Edition GIPA, PONTCHARTRIN FRANCE 3, 1-9.
49. LE HER F, 1988. Une méthode supraliminaire d'approche prothétique « La Méthode C.T.M ». Les Cahiers de l'audition, n°82 (2), vol 2 Juin 88, P.25-37.
50. CNA, (1999). Présentation détaillée du C.T.M in L'appareillage de l'adulte : le choix prothétique. Tome 2. Précis d'audioprothèse. Les éd. du collège national d'audioprothèse, P.480.
51. ELBERLING C. 1994 Loudness scaling versus comfort and discomfort levels in normal and impaired hearing. *Issues in Advanced Hearing Aid Research: Lake Arrowhead*, June 1994.
52. Gallego, Stéphane & Collet, Lionel & Truy, Eric & Dubreuil, Christian. (2006). Réhabilitation des patients ayant une (sub)cophose unilatérale. *Ouïe Magazine*. 4. 38-44.
53. O. Deguine, N. Vannson, C. Molinier, M. Marx, B. Lescure, P. Barone, Évaluation du handicap perceptif après surdité unilatérale : évaluation psychoacoustique et qualité de vie, Volume 4442, Issue 1004, 10/2014, Pages A1-A182, ISSN 1879-7261
54. Gallego, S., Collet, L., Alacaraz, C., Tringali, S., Truy, E., Thai Van, H., & Dubreuil, C. (2010). Réhabilitation des patients ayant une surdité unilatérale. *ORLautrement*, 12-19.
55. Gatehouse, S., Noble, W., 2004. The Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ). *International Journal of Audiology* 43, 85–99
56. Anderson, S., Parbery-Clark, A., White-Schwoch, T., Kraus, N., 2013. Auditory brainstem response to complex sounds predicts self-reported speech-in-noise performance. *J Speech Lang Hear Res* 56, 31–43.
57. House, J.W., Kutz, J.W., Chung, J., Fisher, L.M., 2010. Bone-anchored hearing aid subjective benefit for unilateral deafness. *Laryngoscope* 120, 601– 607.
58. Noble, W., Tyler, R., Dunn, C., Bhullar, N., 2008. Unilateral and bilateral cochlear implants and the implant-plus-hearing-aid profile: comparing self-assessed and measured abilities. *Int J Audiol* 47, 505–514.
59. Pennini, P.T.M., Almeida, K. de, 2021. Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale in assessing the benefit in hearing aid users. *Codas* 33, e20190196.
60. Moulin, A., Pautz, 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* 54, 889–898.

61. Moulin, A., Vergne, J., Gallego, S., Micheyl, C., 2019a. A New Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale Short-Form: Factor, Cluster, and Comparative Analyses. *Ear & Hearing* 40, 938– 950.
62. Ferschneider M., Gallego S., Moulin A. Utilisation du Questionnaire d'habiletés auditives " Parole, audition spatiale et qualité d'audition " (" Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale) (SSQ) en audioprothèse. *Cahiers de l'audition*, Elsevier, 2022.
63. Jacobson G., Newman C., *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* , 116 ( 1990 ), pp. 424 – 427
64. Treleaven J., Dizziness Handicap Inventory (DHI), *Australian Journal of Physiotherapy*, Volume 52, Issue 1, 2006, Page 67, ISSN 0004-9514,
65. Whitney S., et al. *Otol Neurotol* , 25 ( 2004 ) , p. 139 - 143
66. Powell, L.E. & Myers, A.M. (1995). The Activities-specific Balance Confidence (ABC) scale. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 50A (1), M28-34.
67. Myers, A.M. (1999). *Program evaluation for exercise leaders*. Waterloo: Human Kinetics.
68. Myers, A.M., Fletcher, P.C., Myers, A.H., & Sherk, W. (1998). Discriminative and evaluative properties of the Activities-specific Balance Confidence (ABC) scale. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 53A(4), M287-94.
69. Bartels, C., Wegrzyn, M., Wiedl, A., Ackermann, V., & Ehrenreich, H. (2010). Practice effects in healthy adults : Longitudinal study on frequent repetitive cognitive testing. *BMC neuroscience*, 11, 118.
70. Hausknecht, J., Halpert, J., Paolo, N., & Gerrard, M. (2007). Retesting in selection : A metaanalysis of coaching and practice effects for tests of cognitive ability. *Journal of Applied Psychology*, 92, 373-385.
71. Benedict, R., & Zgaljardic, D. (1998). Practice Effects During Repeated Administrations of Memory Tests With and Without Alternate Forms. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 20, 339-352.
72. Beglinger, L., Gaydos, B., Tangphao, O., Duff, K., Kareken, D., Crawford, J., Fastenau, P., & Siemers, E. (2005). Practice effects and the use of alternate forms in serial neuropsychological testing. *Archives of clinical neuropsychology : the official journal of the National Academy of Neuropsychologists*, 20, 517-529.
73. Reeve, C., & Lam, H. (2007). The Relation Between Practice Effects, Test-Taker Characteristics and Degree of g-Saturation. *INTERNATIONAL JOURNAL OF TESTING*, 7, 225-242.µ
74. Wildschut A. Activities-specific Balance Confidence Scale (ABSC Scale). Rochette A., 2020. Disponible sur : <https://strokengine.ca/fr/assessments/activities-specific-balance-confidence-scale-abc-scale/> (Consulté le 20/01/23)
75. Moore, J.L., Potter, K., Blankshain, K., Kaplan, S.L., O'Dwyer, L.C., & Sullivan, J.E. (2018). A core set of outcome measures for adults with neurological conditions undergoing rehabilitation: a clinical practice guideline. *Journal of Neurological Physical Therapy*, 42, 174-216.].
76. COLIN D., TRUY E., DURIER T., THAI-VAN H., GALLEGO S. (2013). Importance des différentes bandes de fréquences pour l'intelligibilité du malentendant. *Annales Françaises d'Oto-Rhino-Laryngologie et de Pathologie Cervico-Faciale*, 130(4),A138
77. Beattie RC, Sheffler MV. Test-retest stability and effects of psychophysical methods on the speech loudness discomfort level. *Audiology*. 1981;20(2):143-56.

## Annexes

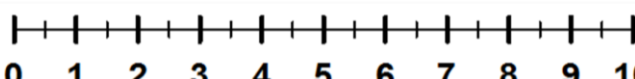
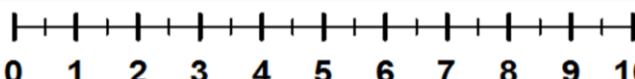
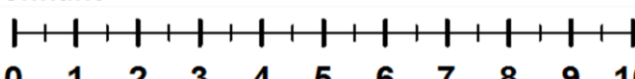
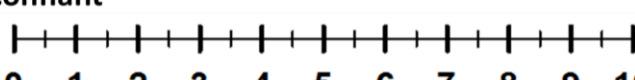
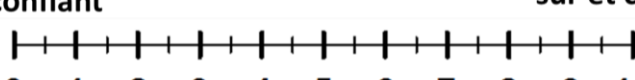
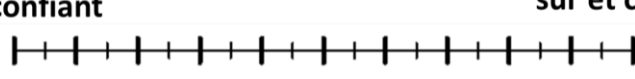
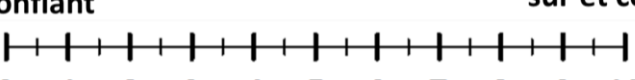
### 1. Questionnaires utilisés

#### 1.a. Échelle ABC d'équilibre

##### Échelle 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).

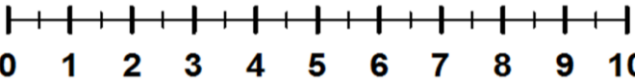
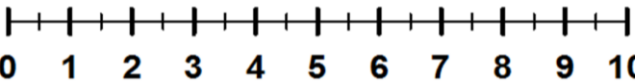
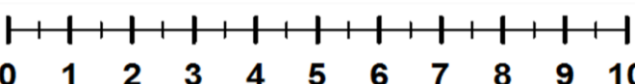
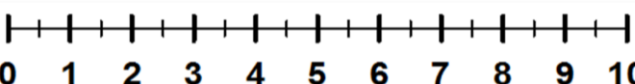
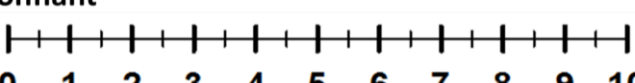
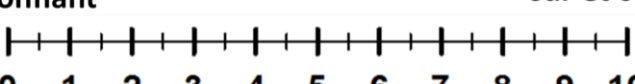
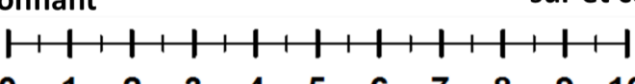

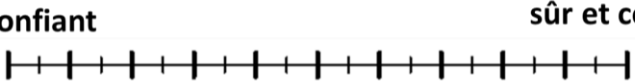
Jusqu'à quel point êtes-vous confiant(e), sûr(e) de garder votre équilibre lorsque vous faites les activités suivantes :

1. Vous marchez dans votre maison.	<p>Pas sûr du tout, pas confiant</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>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</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>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</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>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</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>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</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>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</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
7. Vous balayez le sol.	<p>Pas sûr du tout, pas confiant</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>

ABC Equilibre. V. française préliminaire. D'après A. Myers. 1/2



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>Pas sûr du tout, pas confiant</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
9. Vous montez ou vous descendez de voiture.	<p>Pas sûr du tout, pas confiant</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>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>Pas sûr du tout, pas confiant</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
11. Vous montez ou descendez un plan incliné (rampe d'accès)	<p>Pas sûr du tout, pas confiant</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>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>Pas sûr du tout, pas confiant</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>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>Pas sûr du tout, pas confiant</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
14. Vous utilisez un escalier roulant (escalator) en tenant la rampe.	<p>Pas sûr du tout, pas confiant</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>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>Pas sûr du tout, pas confiant</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
16. Vous marchez dehors sur un terrain ou un trottoir glissant.	<p>Pas sûr du tout, pas confiant</p> <p style="text-align: right;">Parfaitement sûr et confiant</p>  <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>





## 1.c. 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 = .....**

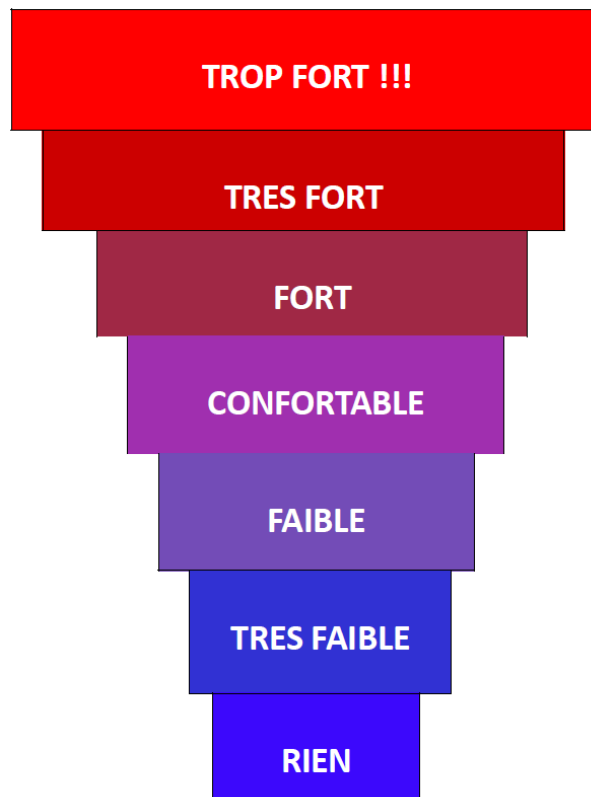
(1) Jacobson GP, ewman CW. The development of the dizziness handicap inventory. Arch Otolaryngol Head Neck Surgery 1990; 116: 424-427

(2) Emi C. Guyot JP. Difficultés liées au développement d'une échelle de handicap vestibulaire. Otorhinolaryngol Nova 2000; 10: 20-24



S F K V

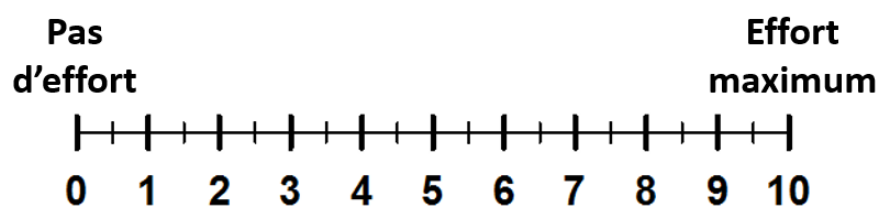
## 2. Échelle de mesure de sonie



## 3. Échelle visuelle analogique

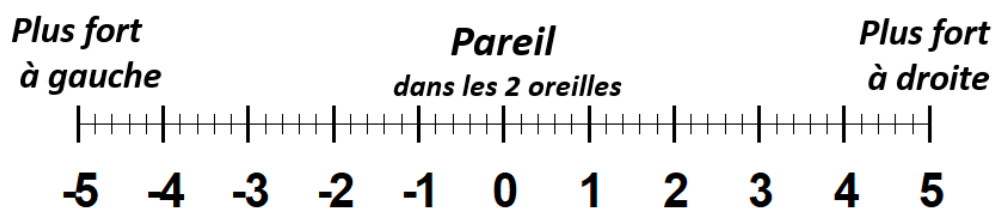
### 3.a. Mesure de l'effort d'écoute

**Quel est l'effort que vous avez du fournir pour mener à bien cette tâche ?**



### 3.b. Mesure du degré de latéralisation

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



#### 4. Listes dissyllabiques de FOURNIER

Liste 1	Liste 2
Le bouchon	Le râteau
Le souper	Le donjon
Le rondin	Le sergent
Le grumeau	Le crémier
Le rebut	Le niveau
Le glaçon	Le refrain
Le réchaud	Le veston
Le coffret	Le forban
Le gamin	Le bûcher
Le clavier	Le cachot

#### 5. Listes cochléaires de LAFON

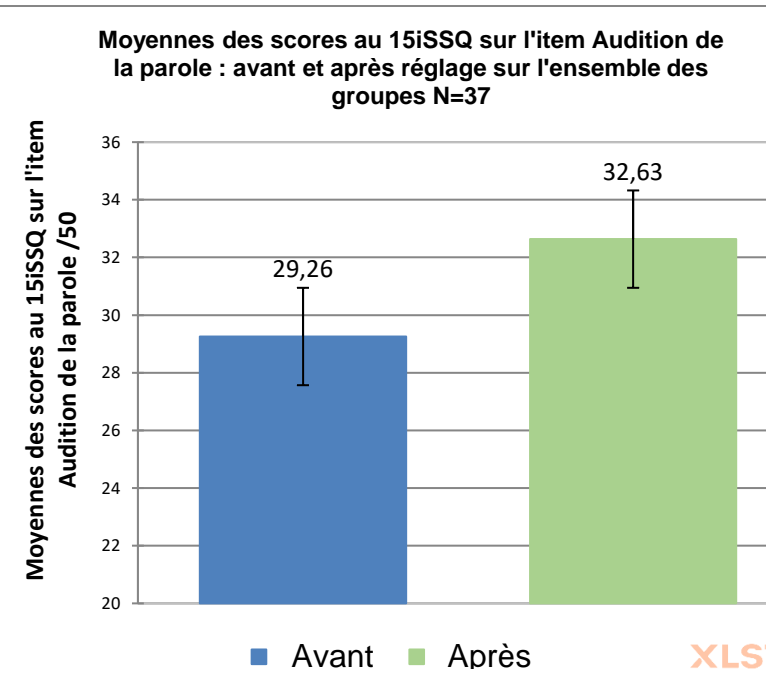
Liste 1	Liste 2	Liste 3	Liste 4	Liste 5	Liste 6	Liste 7	Liste 8	Liste 9	Liste 10	Liste 11	Liste 12	Liste 13
buée	bile	rôde	abbé	balle	bille	brin	bol	bois	tube	bru	bec	bouche
ride	dors	fente	sud	soude	doute	faillie	rade	dard	dalle	lande	dru	rôde
foc	sage	tige	fausse	mur	faine	sauge	touffe	faute	four	face	franc	feinte
agis	gaine	grain	joute	nef	longe	langue	gêne	amas	jante	neige	bouge	jute
vague	fil	cave	dogue	change	gave	sotte	raide	Gîte	gaz	dague	gomme	ligne
croc	cru	bulle	acquis	gage	seul	molle	étang	Ganse	caisse	sec	rut	cure
lobe	boule	somme	ville	trou	ami	drap	roule	cahot	folle	tôle	pale	moule
mieux	cale	maine	marre	mal	tasse	mille	mise	père	mainte	meule	thème	sème
natte	bonne	preux	noce	tonne	chêne	naine	année	mine	saine	fine	orne	anis
col	rive	bord	appas	peur	pré	pire	pile	tronc	pris	prend	épais	pour
fort	sol	rouille	roule	rampe	sur	tank	sort	passe	soute	serre	tard	gris
soupe	tempe	oser	cil	puce	crin	pure	masse	tord	rite	peinte	soie	somme
tonte	fauve	site	fête	cor	vol	suer	fève	élan	bave	voûte	teinte	rase
vêle	phase	bouée	veule	vite	front	rêve	pince	voix	bouse	tri	vif	sente
nage	mule	sauve	chaise	rance	ruse	vase	bac	pèse	nappe	thèse	sauve	poche
souche	chatte	chance	bâche	mouche	louche	mèche	manche	bûche	Riche	arche	fiche	sève
rogne	règne	gagne	souille	filie	bagne	teigne	saigne	paille	peigne	pigne	pagne	agneau

Liste 14	Liste 15	Liste 16	Liste 17	Liste 18
beurre	béat	ronde	buse	bock
rude	date	fade	code	dîne
fane	frein	beige	foule	frais
lange	range	grue	fange	mage
figue	gale	couche	gaule	gland
latte	souk	lasse	cran	soc
mousse	lègue	pâme	allait	loi
pic	mate	anneau	monte	mien
laine	naisse	épée	nasse	coupe
patte	port	race	près	bras
ronge	sauf	soute	sac	assaut
selle	taille	motte	tord	nier
menthe	avis	vide	rave	rente
vieux	muse	case	bise	vote
bis	biche	niche	sèche	seize
chape	meurt	bien	brou	roche
caille	digne	ligne	vigne	maille

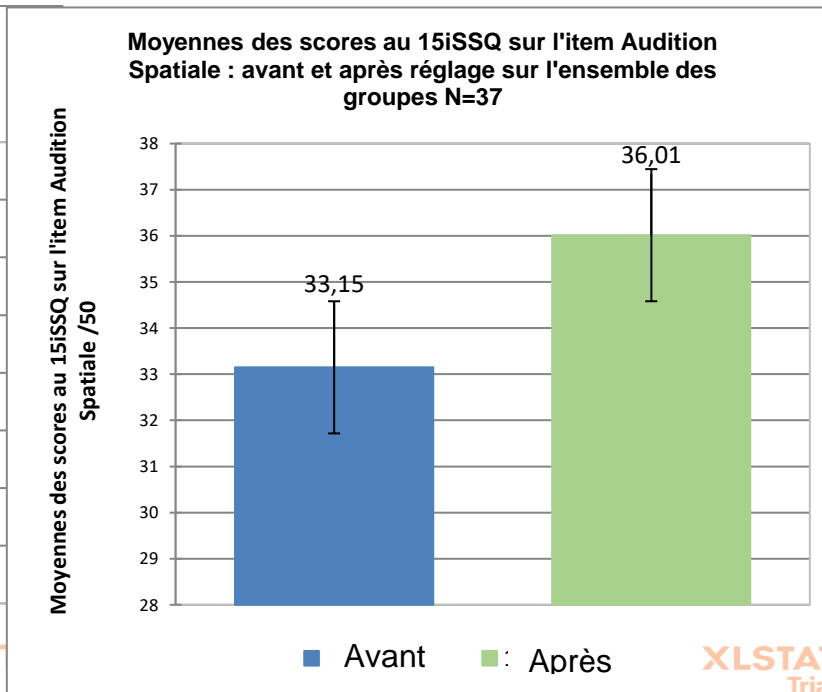
## 6. Résultats des tests de Wilcoxon lors du test-retest

Résultats des tests de Wilcoxon lors du Test Retest, sur l'ensemble des sujets (N=37), le groupe Asymétrique (N=16) et Symétrique (N=21)			
	Ensemble des sujets	Groupe Asymétrique	Groupe Symétrique
$\Sigma$ D-DI	p = 0,094	p = 0,339	p = 0,184
$\Delta$ D-DI	p = 0,427	p = 0,338	p = 0,925
15iSSQ item Audition de la parole	<b>p = 0,042</b>	p = 0,052	p = 0,444
15iSSQ item Audition Spatiale	p = 0,458	p = 0,131	p = 0,702
15iSSQ item Qualité de l'audition	p = 0,993	p = 0,755	p = 0,732
15iSSQ score total	p = 0,074	p = 0,059	p = 0,555
DHI item Emotionnel	p = 0,929	p = 0,640	p = 0,776
DHI item Fonctionnel	p = 0,882	p = 0,368	p = 0,545
DHI item Physique	p = 0,620	p = 0,860	p = 0,595
DHI score total	p = 0,983	p = 0,431	p = 0,535

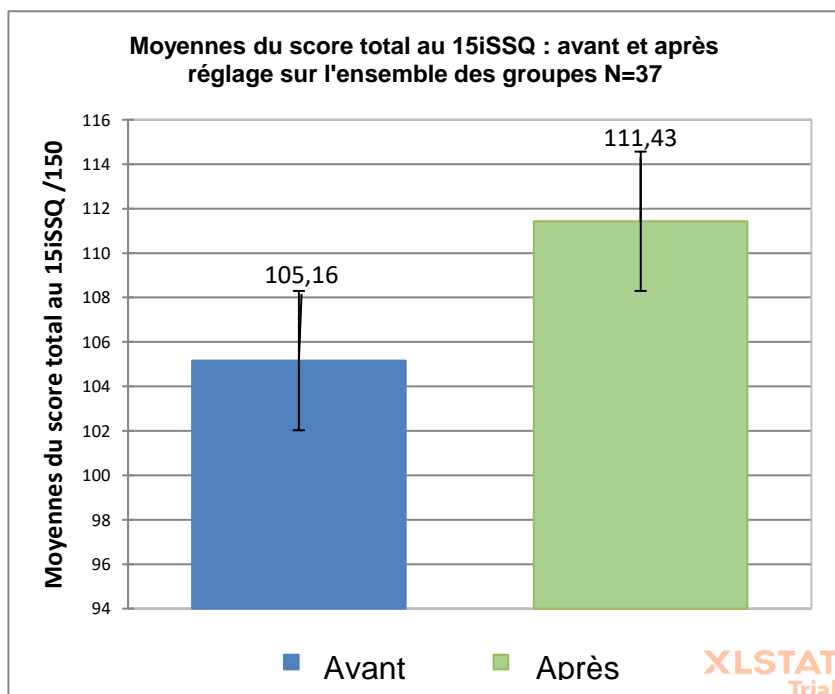
## 7. Score sur l'item Audition de la parole, Audition Spatiale et total au 15iSSQ (Tous les sujets)



*Figure 22 : Moyennes des scores au 15iSSQ sur l'item Audition de la parole : avant et après réglages sur l'ensemble des sujets (N=37). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.*



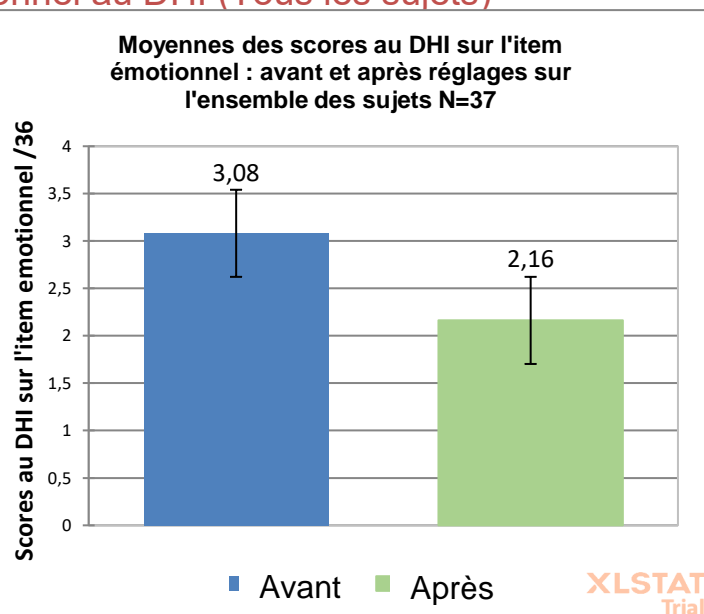
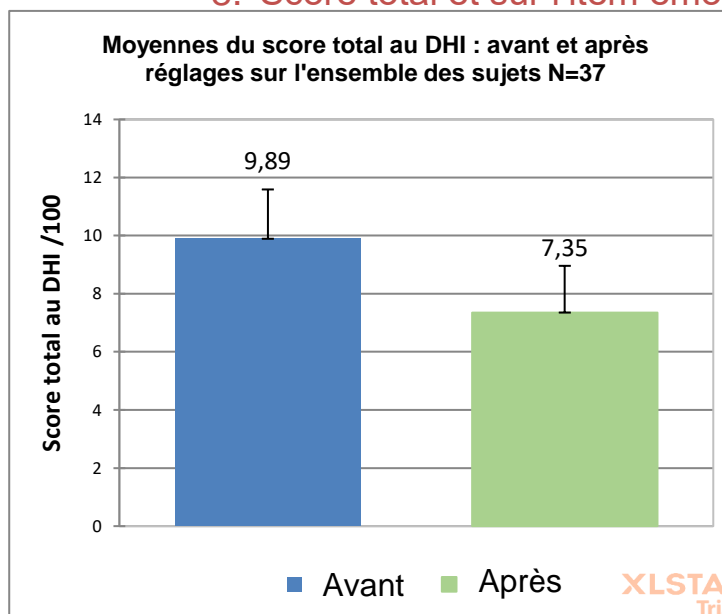
*Figure 23 : Moyennes des scores au 15iSSQ sur l'item Audition Spatiale : avant et après réglages sur l'ensemble des sujets (N=37). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.*



*Figure 24 : Moyennes du score total au 15iSSQ : avant et après réglages sur l'ensemble des sujets (N=37). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.*



## 8. Score total et sur l'item émotionnel au DHI (Tous les sujets)



*Figure 26 :* Moyennes du score total au DHI : avant et après réglages sur l'ensemble des sujets (N=37). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

*Figure 27 :* Moyennes des scores au DHI sur l'item émotionnel : avant et après réglages sur l'ensemble des sujets (N=37). Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

## 9. Résultats lors de la mutualisation des deux études

Résultats des tests de Wilcoxon, avant et après modification des réglages lors de la mutualisation des deux études, sur l'ensemble des sujets (N=79), le groupe Asymétrique (N=40) et Symétrique (N=39)			
	Ensemble des sujets	Groupe Asymétrique	Groupe Symétrique
$\Sigma D-DI$	$p < 10^{-4}$	$p = 0,4 \times 10^{-3}$	$p = 0,013$
$\Delta D-DI$	$p = 0,068$	$p = 0,031$	$p = 0,856$
15iSSQ item Audition de la parole	$p = 0,002$	$p = 0,067$	$p = 0,005$
15iSSQ item Audition Spatiale	$p = 0,002$	$p = 0,002$	$p = 0,305$
15iSSQ item Qualité de l'audition	$p = 0,484$	$p = 0,607$	$p = 0,959$
15iSSQ score total	$p = 0,021$	$p = 0,130$	$p = 0,042$
DHI item Emotionnel	$p = 0,031$	$p = 0,126$	$p = 0,142$
DHI item Fonctionnel	$p = 0,007$	$p = 0,157$	$p = 0,007$
DHI item Physique	$p = 0,004$	$p = 0,020$	$p = 0,067$
DHI score total	$p = 0,1 \times 10^{-3}$	$p = 0,014$	$p = 0,003$