



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale
- Pas de Modification 4.0 France (CC BY-NC-ND 4.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

Université Claude Bernard



Lyon 1

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

Directeur Professeur Jacques LUAUTE

Utilité de l'équilibrage de la sonie entre les différentes
fréquences en plus du stéréo-équilibrage pour la compréhension dans le bruit

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

**DIPLOME D'ETAT
D'AUDIOPROTHESISTE**

par

ABECASSERA - Kélian

Autorisation de reproduction

LYON, le

(18 octobre 2024)

David COLIN

N° 1032

Responsable de l'Enseignement



Président
Pr Frédéric FLEURY

Vice-président CFVU
M. Christophe VITON

Vice-président CA
M. CHEVALIER Philippe

Vice-président CS
M. MORNEX Jean-François

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. MORIN Jean-Christophe

U.F.R de Médecine Lyon-Sud
Charles Mérieux
Directeur
Pr PAPAREL Philippe

Institut des Sciences Pharmaceutiques
et Biologiques
Directeur
Pr DUSSART Claude

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 (CCEM)
PR BURILLON Carole



Secteur Sciences et Technologies

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

Directeur

M. BODET Guillaume

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

Administrateur provisoire

M. ROBERT Christian

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

Directeur

M. CHAREYRON Pierre

UFR de Sciences

Directeur

M. ANDRIOLETTI Bruno

POLYTECH LYON

Directeur

Pr PERRIN Emmanuel

IUT LYON 1

Directeur

M. MASSENZIO Michel

Observatoire astronomique de Lyon

Directeur

M. GUIDERDONI Bruno

UFR Biosciences

Directrice

Mme GIESELER Kathrin

Département Génie Electrique et des procédés (GEP)

Directrice

Mme CAVASSILA Sophie

Département informatique

Directrice

Mme BOUAKAZ BRONDEL Saida

Département Mécanique

Directeur

M. BUFFAT Marc

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude envers Monsieur Fabien SELDRAN pour son aide précieuse dans le choix de mon sujet ainsi que tout au long de mon étude et pour ses conseils avisés qui ont enrichi mon travail.

Je tiens aussi à remercier Monsieur Frédéric MARCADIER ainsi que toute l'équipe, Madame Romanne MOREL, Monsieur Laurent BASTIDE, Madame Juliette VERNAY, Madame Sabine MEISSEL, Madame Stéphanie CLARY, mais aussi Monsieur Mathieu FERSCHNEIDER, Madame Madame Yura RIBEIRO, Monsieur Éric IDMONT pour leur temps, leur confiance, leur accompagnement et leurs conseils transmis tout au long de mes stages de 2ème et de 3ème année.

Un grand merci aux patients qui se sont portés volontaires et qui m'ont permis de pouvoir réaliser cette étude, leur participation active et leur contribution précieuse ont été essentielles.

Merci à l'équipe pédagogique de la formation d'audioprothèse de Lyon pour leur encadrement et leur enseignement au cours de ces trois années d'étude.

Pour finir, un grand merci à ma famille, mes amis et ma compagne pour leur soutien, leur aide et leur motivation durant ces années d'étude. Pour tous ces moments de rire et de bonne humeur.

Résumé

Le stéréo-équilibre est un test et une méthode de réglage permettant de réduire l'écart d'audibilité entre les deux oreilles. Aujourd'hui, il a été prouvé que cette méthode permet d'améliorer la compréhension dans le bruit des patients. Cette étude a pour but de mesurer l'utilité de rajouter un équilibre de la sonie entre les différentes fréquences au stéréo-équilibre.

Pour cela, 25 patients se sont portés volontaires pour participer aux trois rendez-vous chacun espacé de 15 jours minimum. Au cours de ces 3 rendez-vous, les patients ont été soumis à plusieurs tests dont une audiométrie tonale, la mesure du seuil prothétique tonal, des tests diotique, dichotique et dichotique inversé ainsi qu'à l'utilisation du questionnaire 15iSSQ. Deux modifications de réglage ont aussi été réalisées. Une lors du premier rendez-vous suite au stéréo-équilibre. Et une deuxième lors du deuxième rendez-vous suite à l'équilibre de la sonie entre les différentes fréquences.

Les résultats de cette étude ont montré des différences significatives. En effet, les deux modifications du réglage ont permis à nos patients de bénéficier de meilleurs résultats lors des différents tests vocaux. Le stéréo-équilibre a aussi permis de réduire l'écart d'audibilité entre les deux oreilles. Malheureusement aucune amélioration significative n'a pu être mise en valeur sur le questionnaire 15iSSQ malgré une légère hausse des moyennes finales.

Les résultats montrent donc une amélioration de la compréhension dans le bruit de nos patients. L'équilibre de la sonie entre les différentes fréquences pourrait donc être intéressant à rajouter au stéréo-équilibre.

Glossaire

- AA : Aide auditive
- CL : Champs libre
- D : Dichotique
- dB : Décibel
- DI : Dichotique inversé
- HL : Hearing level (Niveau d'audition)
- Hz : Hertz
- ILD : Interaural level difference (Différence de niveau interaurale)
- ITD : Interaural time difference (Différence de temps interaurale)
- MCL : Most comfortable level (Niveau sonore le plus confortable)
- p-value : probability value (Probabilité critique)
- RDV : Rendez-vous
- RSB : Rapport signal sur bruit
- SPL : Sound pressure level (Niveau de pression acoustique)
- SSQ : Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (
- UCL ou ULL : Uncomfortable loudness level
- 15iSSQ : Version abrégé du SSQ
- μ : Moyenne
- σ : Écart-type
- Δ : Delta ou Différence
- [?] : Se référer à la bibliographie

Sommaire

Introduction.....	1
Partie théorique.....	3
1. Le stéréo-équilibrage.....	3
1.a. Le seuil liminaire tonal.....	5
1.b. Most Comfortable Level (MCL).....	5
1.c. Uncomfortable Loudness Level (UCL ou ULL).....	6
1.d. La dynamique résiduelle.....	6
2. L'audition Binaurale.....	9
2.a. Localisation.....	9
2.b. Effet d'ombre de la tête.....	10
2.c. Démasquage binaural.....	12
2.d. Redondance binaurale.....	13
2.e. L'audition stéréophonique.....	14
3. La sonie.....	14
4. Mesure et équilibrage de la sonie dans l'implant cochléaire.....	16
5. Questionnaire 15iSSQ.....	17
Étude expérimentale : sujet, matériel et méthode.....	19
1. Les sujets.....	19
2. Matériel.....	21
3. Les différents tests.....	21
3.a. Audiométrie tonale.....	21
3.b. Diotique, Dichotique et Dichotique inversé.....	22
3.c. Le stéréo-équilibrage.....	23
3.d. Équilibrage de la sonie.....	24
4. Méthode.....	24
4.a. Premier rendez-vous.....	24
4.b. Deuxième rendez-vous.....	26
4.c. Troisième rendez-vous.....	27

Résultat	29
1. Comparaison des résultats entre le jour 0 et le jour 15.....	30
1.a. Tests diotique, D et DI.....	30
1.b. Seuil prothétique tonal liminaire en champ libre.....	31
1.c. Questionnaire 15iSSQ.....	32
2. Comparaison des résultats entre le jour 15 et le jour 30.....	33
2.a. Tests diotique, D et DI.....	33
2.b. Seuil prothétique tonal liminaire en champ libre.....	34
2.c. Questionnaire 15iSSQ.....	35
3. Comparaison des résultats entre le jour 0 et le jour 30.....	36
3.a. Tests diotique, D et DI.....	36
3.b. Seuil prothétique tonal liminaire en champ libre.....	38
3.c. Questionnaire 15iSSQ.....	38
Discussion	40
1. Le stéréo-équilibrage.....	40
2. Équilibrage de la sonie entre les fréquences.....	41
3. Le questionnaire 15iSSQ.....	42
4. Limites de l'étude.....	43
4.a. L'échantillon.....	43
4.b. Durée entre les rendez-vous.....	43
4.c. Durée des tests et choix du RSB.....	44
4.d. Subjectivité des tests et des réponses au 15iSSQ.....	44
4.e. Effet d'apprentissage.....	45
4.f. Couplage acoustique.....	45
4.g. Equilibrage des sons forts et sensation de sonie.....	45
Conclusion	46
Tables des illustrations	47
Bibliographie	51
Annexes	54

Introduction

L'audition est l'un des sens fondamentaux de l'être humain. Elle est d'une importance capitale dans notre interaction avec le monde qui nous entoure. Elle joue un rôle important dans de nombreux domaines comme la communication, mais est aussi essentielle dans d'autres situations, comme pour notre sécurité.

L'audition binaurale, elle, est la capacité de notre cerveau à trier les informations provenant de nos deux oreilles. Elle comprend de nombreuses fonctions permettant de percevoir les sons du monde qui nous entoure. L'altération de cette fonction entraîne un handicap important notamment dans la localisation et la compréhension dans le bruit. Il est donc dans le devoir d'un audioprothésiste, dans la mesure du possible, de restituer à son patient son audition binaurale ou de s'en rapprocher un maximum afin de lui procurer tous les avantages induits par cette fonction.

Le stéréo-équilibrage est une méthode de réglage qui permet de rendre au maximum, une sensation d'équilibre entre les deux oreilles. Il restitue au patient de nombreux atouts et confort optimal lors de l'écoute. De nombreuses études ont montré les bénéfices apportés par cette technique.

Cependant, pour essayer d'optimiser davantage cette technique, nous avons décidé, avec l'aide de mon professeur, de rajouter une étape qui permettrait d'équilibrer la sonie des patients entre les différentes fréquences.

Ainsi, cette étude cherche à savoir si le rajout d'un équilibrage de la sonie entre les différentes fréquences permet de perfectionner la technique du stéréo-équilibrage afin d'améliorer la compréhension dans le bruit des personnes atteintes de perte auditive.

Dans un premier temps, le stéréo-équilibrage ainsi que les différents seuils permettant de le réaliser seront analysés. L'audition binaurale et ses avantages seront ensuite rappelés. L'explication de la sonie sera aussi évoquée. Pour finir, le questionnaire 15iSSQ, permettant de connaître le ressenti de nos patients, sera présenté. La méthode permettant d'obtenir les résultats sera ensuite expliquée.

Pour terminer, la présentation de résultats et la discussion seront faites.

Partie théorique

1. Le Stéréo-équilibrage

L'utilisation d'une solution binaurale pour traiter une surdité asymétrique n'a pas toujours fait l'unanimité parmi les spécialistes. Les écrits spécialisés reflétaient une diversité d'opinions. Les professionnels de l'audioprothèse préféraient souvent adapter un appareil à une seule oreille, en prenant en considération à la fois les besoins du patient et le degré de sa perte auditive. Par ailleurs, les limitations technologiques des dispositifs auditifs de l'époque ont également influencé cette approche, bien que ces contraintes aient moins d'incidence de nos jours. Actuellement, l'adoption d'une solution bilatérale est quasiment systématique chez les individus présentant une perte auditive, qu'elle soit symétrique ou asymétrique.[1]

Il convient dès lors de se poser la question de la meilleure méthode pour le réglage des paramètres des appareils auditifs bilatéraux.

Une des premières méthodes de réglage ayant pour but de restaurer l'audition binaurale mais surtout d'améliorer la compréhension dans des milieux bruyants est la stéréaudiométrie.

Élaborée par DECROIX et DEHAUSSY en 1966, cette méthode a pour but de restaurer l'audition binaurale grâce à un appareillage stéréophonique. Cependant, grâce aux progrès technologiques dans le domaine des AA et à l'introduction aux tests supraliminaires, cette méthode est désormais devenue moins efficace.

Par conséquent, elle a progressivement été abandonnée au profit de nouvelles pratiques. [2]

Aujourd'hui, le stéréo-équilibre est une méthode permettant de fournir aux deux oreilles, grâce à des aides auditives, une sensation sonore similaire, offrant aux patients la possibilité de percevoir un son plus naturel. L'objectif du stéréo-équilibre est d'équilibrer les seuils liminaires avec les seuils supraliminaires du patient.

Depuis quelques années, de nombreux mémoires d'étudiants ont été effectuées dans le but de proposer un protocole, une méthode et d'améliorer le stéréo-équilibre pour répondre au mieux au besoin du patient. Pour entamer cette discussion, en 2020, Adrien KELOGHLANIAN a entrepris une recherche visant à déterminer si le déséquilibre perçu par le patient, évalué au moyen de questionnaires, est lié à la "latéralisation" ou à la "sonie". Les conclusions de cette étude démontrent que le déséquilibre est attribuable à une différence de sonie entre les deux oreilles. En d'autres termes, il est préférable de demander au patient de localiser où le son lui semble plus fort plutôt que de lui demander de quel côté il l'entend. [3]

En 2022, les recherches d'Emma VIDAL ont révélé l'intérêt d'équilibrer les seuils d'inconfort (MCL) à un niveau compris entre 80 et 90 dB SPL, puis de réaliser un stéréo-équilibre à 60 dB SPL. Cette approche a démontré une amélioration significative des performances aux tests D et DI. Elle réduit aussi l'écart entre les résultats de ces deux tests chez les individus ayant une surdité, qu'elle soit symétrique ou asymétrique. [4]

En 2023, le mémoire de Lisa MALCOIFFE n'a pas montré de différence significative lors de la méthode du test-retest. Cette constatation indique qu'aucun effet d'apprentissage n'a influencé les résultats, démontrant ainsi que les améliorations observées sont attribuables au stéréo-équilibre et non à un effet placebo. [5]

1.a. Le seuil liminaire tonal

Le seuil liminaire tonal est obtenu grâce à l'audiométrie tonal liminaire. C'est un seuil subjectif mesuré entre 250 et 8000 Hz, correspondant à l'intensité la plus faible à laquelle le patient commence à entendre un son. Ce seuil est primordial dans la prise en charge d'un patient. Ce seuil peut être différent entre l'oreille gauche et l'oreille droite notamment dans le cas d'une surdité asymétrique.

L'objectif primordial de l'appareillage auditif est de parvenir à un équilibre optimal du seuil auditif entre les deux oreilles. Cependant, dans certaines situations, cet objectif s'avère difficile à atteindre. En effet, il peut être difficile et parfois peu pertinent d'équilibrer le seuil liminaire chez un patient présentant une surdité asymétrique. Un gain excessif sur l'oreille déficiente peut entraîner une distorsion ou une sensation désagréable pour le patient, ce qui compromettrait l'efficacité de l'écoute stéréophonique.

1.b. Most Comfortable Level (MCL)

Le MCL est une mesure subjective supraliminaire, qui peut être mesurée de différentes manières. IL permet de déterminer le gain ainsi que les réponses en fréquences nécessaires à un appareillage. [6]

Le MCL est déterminé par MARTIN en 1994 comme le niveau sonore auquel la parole est perçue de manière la plus agréable et audible. Certains chercheurs ont également avancé que ce seuil, ou un niveau proche de celui-ci, correspond au point où la capacité de compréhension vocale du patient atteint son maximum. Une théorie qui n'est pas partagée par tout le monde et qui a été remise en question par d'autres. [7][8]

L'origine de cette méthode vient de WATSON et KNUDSEN, en 1940, qui ont élaboré une technique de réglage basée sur le seuil de confort du patient. [9]

Aujourd'hui, il existe plusieurs formules de prescription élaborées par différents chercheurs utilisant la zone de confort auditif tel que les MCL mesurant le niveau de confort moyen, les MCL Low et High (niveaux de confort bas et haut) ou encore les MCS (Most Comfortable Scale) ou échelle de confort. [10]

1.c. Uncomfortable Loudness Level (UCL ou ULL)

Les UCL représentent l'intensité sonore subjective au-delà de laquelle le patient perçoit les sons comme trop forts, induisant ainsi une sensation d'inconfort.

De nombreux chercheurs ont montré l'importance de l'utilisation de cette mesure dans la différenciation d'une surdité de transmission et d'une surdité neurosensorielle. [8]

On retrouve notamment les écrits de HOOD and POOLE qui expliquent que cette mesure permet de déterminer la présence ou non de recrutement lors d'une surdité bilatérale. [11]

Le seuil subjectif d'inconfort n'est pas une mesure très précise. En effet, différents facteurs influencent les résultats tels que la consigne et son interprétation, la personnalité du patient et de l'audioprothésiste ou encore l'état psychique et physique du patient. [12]

1.d. La dynamique résiduelle

La dynamique auditive d'un individu correspond à la plage des sons qu'il est capable de percevoir et de tolérer. Elle s'étend du seuil auditif, qui représente le plus

petit son perçu, jusqu'au seuil d'inconfort, niveau sonore maximal que le patient peut tolérer.

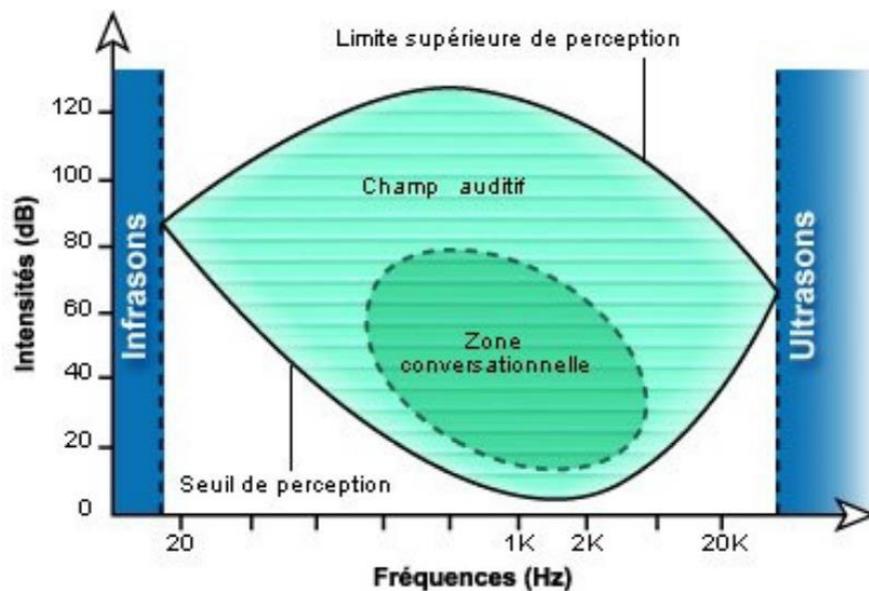


Figure 1 : *Champ ou dynamique auditif humain, compris entre le seuil de perception et le seuil de douleur (ici la limite supérieure de perception).* [13]

La dynamique auditive diffère d'un patient à l'autre et est même dans certains cas différents d'une oreille à l'autre. Le terme "dynamique résiduelle" est utilisé pour décrire la réduction de la dynamique auditive chez une personne souffrant de perte auditive. Elle est due à une distorsion en intensité. Ce phénomène, aussi appelé "recrutement", se définit par l'augmentation de la sonie qui survient de manière disproportionnée par rapport à l'augmentation de l'intensité d'un son. Ce phénomène se résume par une réduction de la dynamique résiduelle, où le seuil d'inconfort tend à se rapprocher de plus en plus du seuil d'audition sur certaines fréquences.

Le phénomène de recrutement est dû à une atteinte au niveau des cellules ciliées externes dans la cochlée.

La figure ci-dessous (Figure 2) illustre à droite un exemple de diminution de la dynamique résiduelle d'un patient.

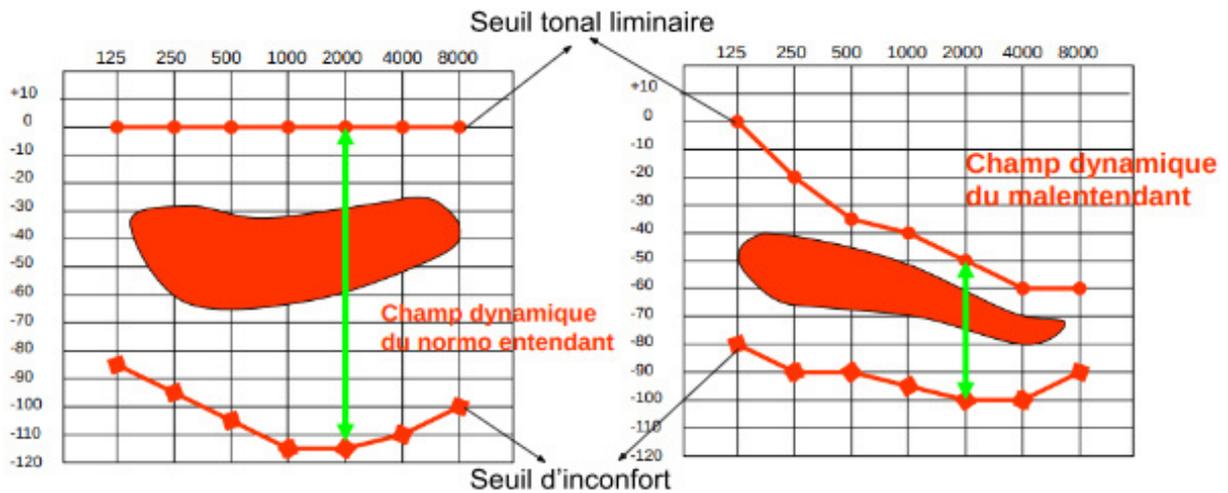


Figure 2 : Représentation du champ dynamique d'un normo entendant à droite, compris entre le seuil tonal liminaire et le seuil d'inconfort. [14]

L'objectif de l'audioprothésiste est de rendre possible le port de l'appareillage dans des environnements bruyants en réduisant la quantité de bruit perçu, tout en facilitant l'audition des signaux importants pour le patient. Pour cela, il faut transférer les sons faibles, moyens et forts dans la dynamique du patient. [15]

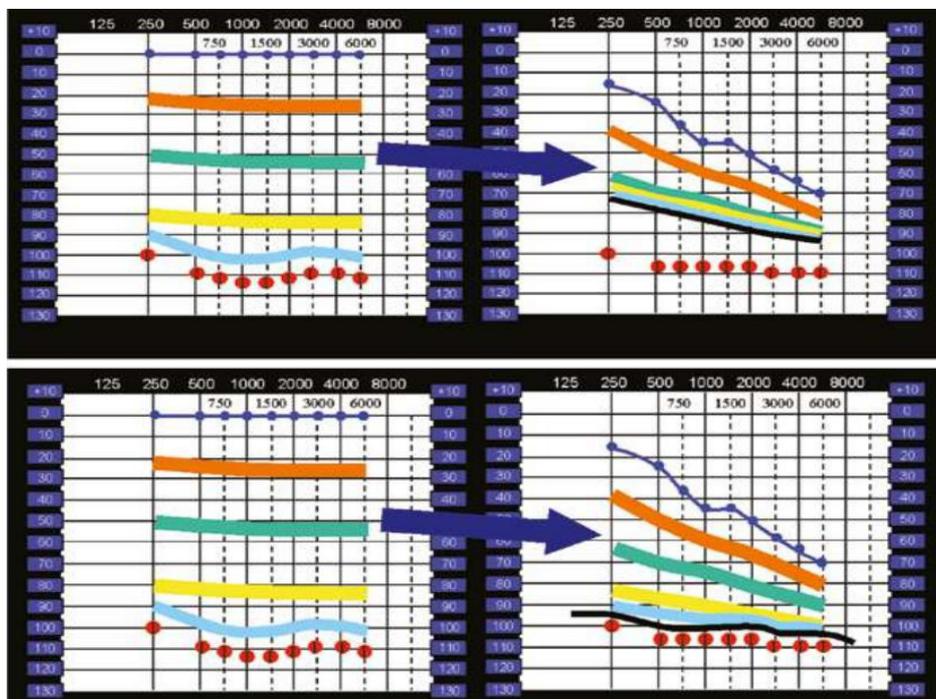


Figure 3 : Exemple de transfert de signaux dans la dynamique résiduelle du champ auditif. En haut à des niveaux équivalents et en bas à des niveaux inférieurs. [15]

2. L'audition Binaurale

La pleine compréhension d'un son par le cerveau n'est possible qu'en présence de deux oreilles saines. [16]

L'audition binaurale permet une amélioration des performances dans la majorité des tâches auditives et est primordiale pour d'autres. [17]

En effet, l'audition binaurale, par rapport à une audition monaurale, permet une meilleure localisation des sons, une meilleure discrimination dans des situations calmes et bruyantes ainsi qu'une meilleure qualité du son. [18]

Cependant, il ne faut pas confondre audition binaurale et fonction binaurale. En effet, l'audition binaurale correspond à l'écoute simultanée des deux oreilles alors que la fonction binaurale implique plusieurs conditions qui ne sont pas toutes nécessaires à l'audition binaurale. Parmi ces conditions, on retrouve "le respect de l'indépendance fonctionnelle des deux oreilles, la captation des sons au niveau de chaque oreille stimulée ainsi que la liberté des mouvements de la tête". [19]

2.a. Localisation

Pouvoir déterminer avec précision la direction ainsi que la distance d'une source sonore est un des avantages les plus importants de l'audition binaurale. [18]

De nombreuses comparaisons entre les signaux perçus par chacune des oreilles permettent au cerveau de localiser la provenance d'un son. Il est donc indispensable d'utiliser ses deux oreilles pour localiser précisément. [2]

Effectivement, de nombreuses recherches ont montré que la différence de temps interaurale (ITD), la différence de niveau interaurale (ILD) et la différence de phase entre les deux oreilles, sont des indices importants dans le mécanisme de localisation d'un son. [17]

Ces indices permettent de déterminer la provenance d'un son dans le plan horizontal. Cependant, aux azimuts 0° et 180° , l'ITD et l'ILD sont quasiment identiques pour les deux oreilles. Parfois des confusions peuvent être faites. [20]

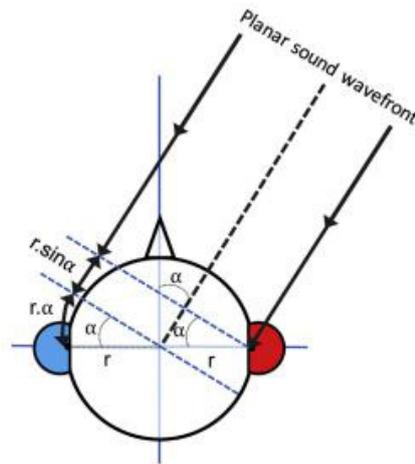


Figure 4 : Représentation géométrique des trajectoires d'un front d'onde pour atteindre l'oreille gauche et l'oreille droite. [21]

Pour ce qui est du plan vertical, les indices utilisés par le cerveau sont principalement monauraux. Il s'agit principalement de la diffraction du son par le torse, l'oreille externe et la tête. [20][22]

2.b. Effet d'ombre de la tête

La présence de la tête est une entrave à la propagation d'une onde sonore. Une diffraction du signal sonore va alors être produite lors de la rencontre entre un son et la tête. [23]

Cette diffraction de l'onde sonore sera plus ou moins importante en fonction de sa fréquence. En effet, les sons graves contournent la tête contrairement aux sons aigus qui eux subissent ce phénomène. [2]

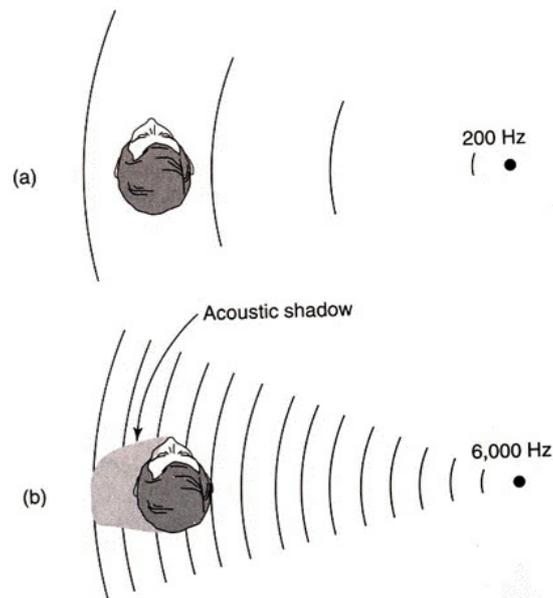


Figure 5 : Illustration schématique de l'effet de l'ombre de la tête en fonction de la fréquence. Pour les fréquences graves en (a) et aiguë en (b). [24]

Des études montrent que :

- Les sons de fréquences graves, inférieur à 1500 Hz, ne subissent pas d'effet de diffraction lors de leur rencontre avec la tête. Cependant, il y aura une différence de temps interaurale (ITD) qui permettra de localiser le son. [2][23]
- Les sons de fréquences supérieures à 3000 Hz, subissent l'effet de diffraction. Il y a donc une différence de hauteur tonale entre les deux oreilles, ce qui permet de déterminer l'angle du son incident. [18][23]

Sur ces fréquences, l'effet d'ombre de la tête entraîne aussi une différence de niveau interaural (ILD) pouvant aller jusqu'à 10 dB d'écart. [22][25]

- Entre 1500 et 3000 Hz, le cerveau va utiliser le décalage temporel (ITD) et la différence de niveau (ILD) afin de pouvoir situer la provenance d'un son. Pour ce type de fréquence, l'analyse sera moins précise, il y aura donc plus d'erreurs de localisation. [23]

L'effet d'ombre de la tête peut aussi entraîner une différence de rapport signal sur bruit (RSB) entre les deux oreilles. Dans un champ sonore, dans lequel un signal de parole et un bruit sont émis à des positions différentes, un écart de RSB interaural est observé. L'oreille placée au plus proche du signal de parole a un RSB plus élevé que l'autre oreille. Cet écart peut aller jusqu'à plus ou moins 15 dB en fonction de la fréquence entre les deux oreilles. [22]

Cet avantage permet de protéger l'oreille sur laquelle le signal important arrive. En revanche, les personnes présentant une surdité unilatérale seront désavantagées si le bruit parasite arrive sur l'oreille saine. [22]

2.c. Démasquage binaural

Le démasquage binaural ou "squelch effect" est la capacité de discriminer un son dans un environnement bruyant. [2]

La capacité du système auditif central à traiter les ITD et les ILD permet d'obtenir des informations spatiales. Un démasquage binaural est entraîné lorsqu'un signal sonore entre en concurrence avec des bruits spatialement dissociés.[22][26]

Dans un environnement bruyant constant, un son est perçu plus facilement et clairement lorsqu'il est envoyé sur une seule oreille ou avec un décalage de temps entre les deux oreilles. A l'inverse, il sera plus difficile de dissocier un son dans un fond sonore constant et bilatéral lorsque celui-ci est envoyé en simultané des deux côtés, ou lorsque le bruit est perçu par une oreille et le message par l'autre. [23]

Il a été montré que pour une intelligibilité à 50 %, l'amélioration pouvait aller jusqu'à 3 dB avec l'utilisation de mots monosyllabiques. [26][27]

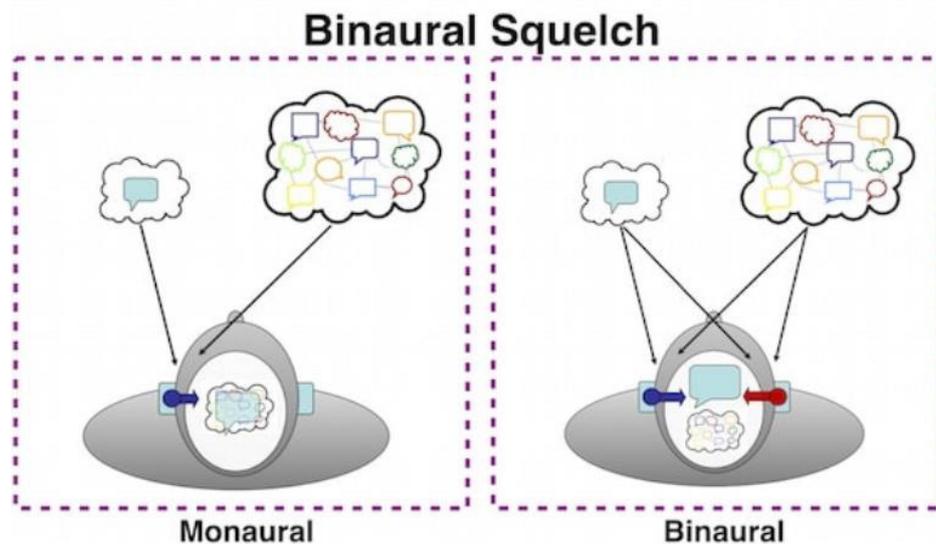


Figure 6 : Illustration du démasquage binaurale montrant que pour une audition monaurale, le bruit et la parole sont mélangés alors qu'ils sont deux signaux distincts lors d'une écoute binaurale. [28]

2.d. Redondance binaurale

L'audition binaurale se réfère à la capacité d'entendre un son à travers les deux oreilles. Lorsqu'un son est perçu par les deux oreilles, il semble plus fort que lorsqu'il est entendu par une seule oreille, phénomène connu sous le nom de sommation de sonie ou de redondance binaurale. [2]

L'audition binaurale permet donc une augmentation de la sensation auditive et donc une amélioration du confort lors de l'écoute. Cette augmentation peut aller jusqu'à 15 dB au niveau de la perception globale. [23]

Lorsque qu'un signal de parole est présenté bilatéralement, il y a une redondance des informations qui augmente la sensibilité lors des changements de fréquences et d'intensités. Cette redondance permet une augmentation de la compréhension de la parole. Cette sommation de sonie permet aussi, lorsque que le bruit et la parole proviennent de la même source, d'améliorer l'intelligibilité dans le bruit. [26]

2)e) L'audition stéréophonique

La capacité à percevoir des sons provenant de plusieurs sources sonores situées à différents points de l'espace est attribuée à l'audition stéréophonique. L'effet stéréophonique n'est pas à confondre avec l'audition binaurale. En effet la stéréophonie est garantie uniquement grâce à l'audition binaurale. [29]

Pour avoir une bonne spatialisation des sons dans l'espace, il faut se servir de l'audition binaurale mais aussi des fonctions binaurales. Pour cela, il faut obligatoirement impliquer :

- "L'indépendance fonctionnelle des deux oreilles,
- La captation du son au niveau de l'oreille stimulée,
- La liberté des mouvements de la tête,
- La reconstitution d'une audition binaurculaire aussi symétrique que possible pour toute la bande de fréquences conversationnelles." [19]

3. La sonie

La sonie est la sensation d'intensité d'un son. C'est une mesure subjective qui est propre à chaque individu et donc un paramètre psychoacoustique important dans l'évaluation de la gêne du patient. La sonie se mesure en sones. Par convention, la valeur de 1 sone est la sonie d'un son pur de 1000 Hz à 40 dB SPL. [30]

Ce qui signifie qu'un son ayant pour valeur x sones sera perçu x fois plus fort qu'un son de 1 sone. [31]

Le niveau d'isosonie se mesure en phone qui est une unité proche du niveau de pression ayant pour unité le dB SPL. [30]

Les courbes isosoniques représentent le niveau de pression sonore en dB qu'une personne perçoit comme étant de même niveau, en fonction de la fréquence.[32]

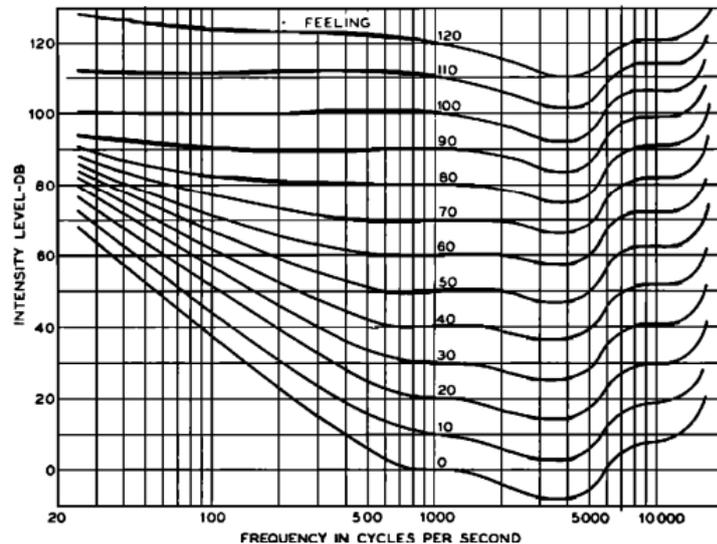


Figure 7 : Courbes isosoniques de FLETCHER et MUNSON. Le 0 correspond au seuil d'audition. [33]

La sonie est également influencée par la largeur spectrale, dans le cas des sons complexes. A intensité constante, la sonie va croître par rapport à la largeur spectrale. Pour pallier cette croissance, il faudrait réduire sa densité spectrale. Cette réduction dépend de deux facteurs, la fréquence centrale de la bande et la largeur de la bande. [30][31]

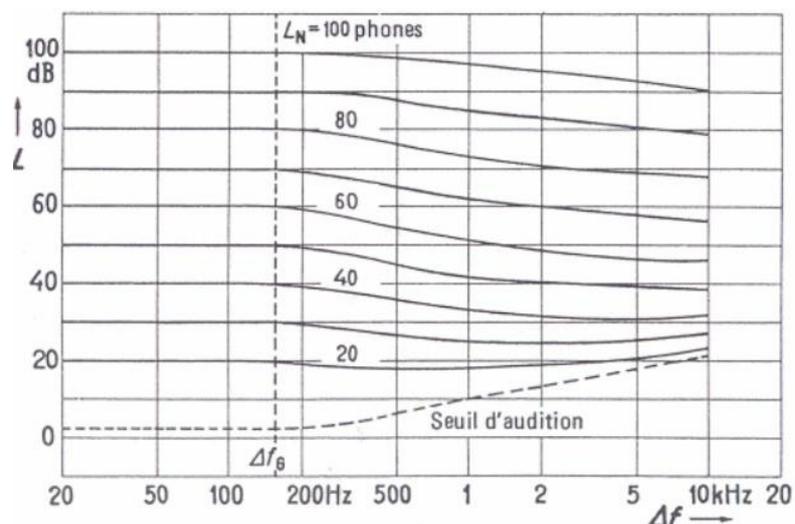


Figure 8 : Courbes d'isosonie de bruits à bande étroite, de fréquence centrale 1kHz en fonction de la largeur de bande. [31]

4) Mesure et équilibrage de la sonie dans l'implant cochléaire

D'après WOLFE et SCHAFER (2015), lors du réglage d'un implant cochléaire, il est important que le régleur mesure les différents niveaux de stimulation afin de déterminer la dynamique auditive du patient, qui s'étend du seuil de perception jusqu'aux niveaux de confort maximal (MCL) ou de tolérance maximale (UCL), en fonction de la marque de l'implant.

Pour ce faire, le régleur peut utiliser une échelle de sonie comprenant de 3 à 10 niveaux différents, en fonction de l'âge et des capacités du patient. Cette échelle inclut généralement les niveaux suivants : Rien – À peine perceptible – Léger – Confortable mais faible – Confortable – Confortable mais fort – Fort – Très fort – Trop fort, comme le montre la figure 9. Le patient doit indiquer sur l'échelle la sensation perçue lorsque le technicien ajuste le volume de chaque canal.

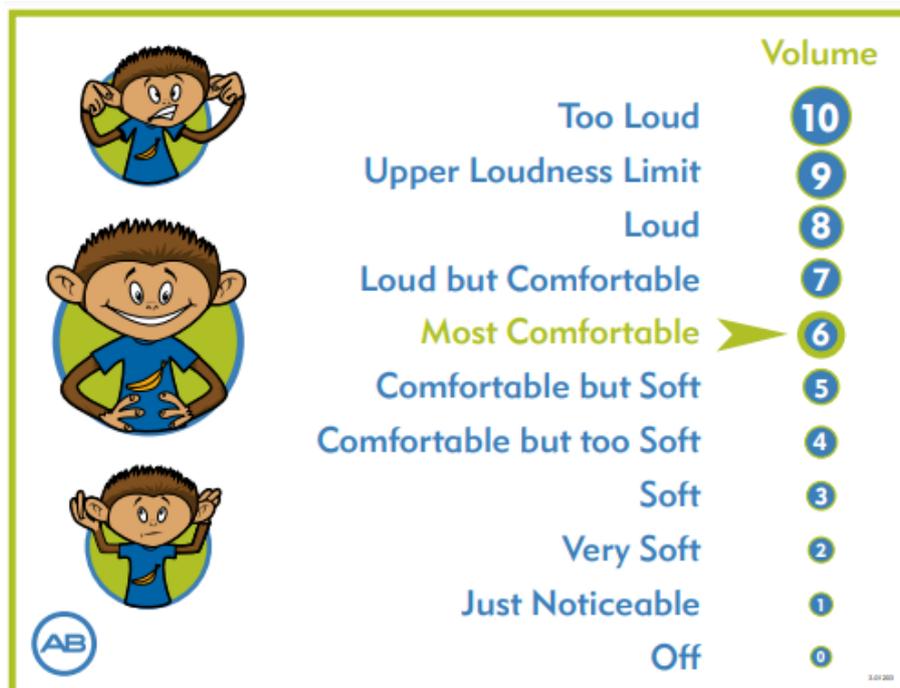


Figure 9 : Exemple d'échelle de sonie utilisée pour le réglage d'implants cochléaires. [34]

Une fois les différents niveaux de stimulation déterminés, le régleur procède à un équilibrage de la sonie des MCL. Cet équilibrage est effectué deux canaux par deux canaux sur l'ensemble du faisceau d'électrodes afin de garantir un volume égal d'un canal à l'autre. Assurer une sensation de puissance égale sur tous les canaux optimise généralement la qualité du son et la reconnaissance vocale. [35]

En fonction du profil du patient, il est également possible de réaliser l'équilibrage sur trois ou quatre canaux adjacents. L'essentiel est de garantir une sensation de sonie uniforme sur les différents canaux, du plus grave au plus aigu.

5) Questionnaire 15iSSQ

Le questionnaire "Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale" (SSQ) a été inventé par GATEHOUSE and NOBLE en 2004.

Ce questionnaire permet au patient de s'autoévaluer et d'établir une relation entre les capacités auditives et le handicap du patient dans de nombreuses situations diverses et complexes. [36]

Le questionnaire est doté de 49 questions. Il est divisé en trois catégories (Audition de la parole, Audition spatiale et Qualité d'audition), auxquelles le patient doit se noter sur une échelle de un à dix (10 étant la note maximale pour laquelle le patient parvient à être parfaitement à l'aise avec la situation d'écoute de la question).

Le 15iSSQ est une version plus courte, composé de 15 questions, développé par MOULIN et COLL en 2019. Cette forme courte permet d'obtenir le ressenti auditif du patient et ce, en peu de temps, entre 5 et 10 minutes, contrairement au SSQ dont le temps de remplissage pouvait aller jusqu'à une heure. [37]

De plus, il conserve les différentes sous-échelles ainsi que les propriétés psychométriques du SSQ et s'est avéré plus sensible. [37]

Ce questionnaire permet donc d'évaluer le ressenti du patient tout au long de son appareillage, et ce, facilement et rapidement.

L'audition binaurale joue un rôle clé dans la compréhension en milieu bruyant, comme le montrent divers travaux de littérature. De nombreuses études récentes, (synthétisés dans SELDRAN et GALLÉGO, 2024) ont mis en évidence l'intérêt de réaliser un stéréo-équilibre pour optimiser les performances des patients, notamment lors de la prise en charge des surdités asymétriques. [38]

De plus, WOLFE et SCHAFER ont démontré l'intérêt d'un équilibre de la sonie des MCL dans les implants cochléaires, ce qui améliore généralement la reconnaissance vocale et la qualité du son. [35]

C'est pourquoi, dans ce mémoire, nous avons voulu combiner le stéréo-équilibre et l'équilibre de la sonie afin de déterminer si cette approche permettrait d'améliorer davantage la compréhension en milieu bruyant chez nos patients.

Étude expérimentale : sujet, matériel et méthode

1. Les sujets

Pour cette étude, 27 patients se sont portés volontaires. Nous avons eu 2 abandons. L'âge moyen de cette population testée est de 77,8 ans allant de 63 ans à 90 ans et ayant pour écart-type 6,2.

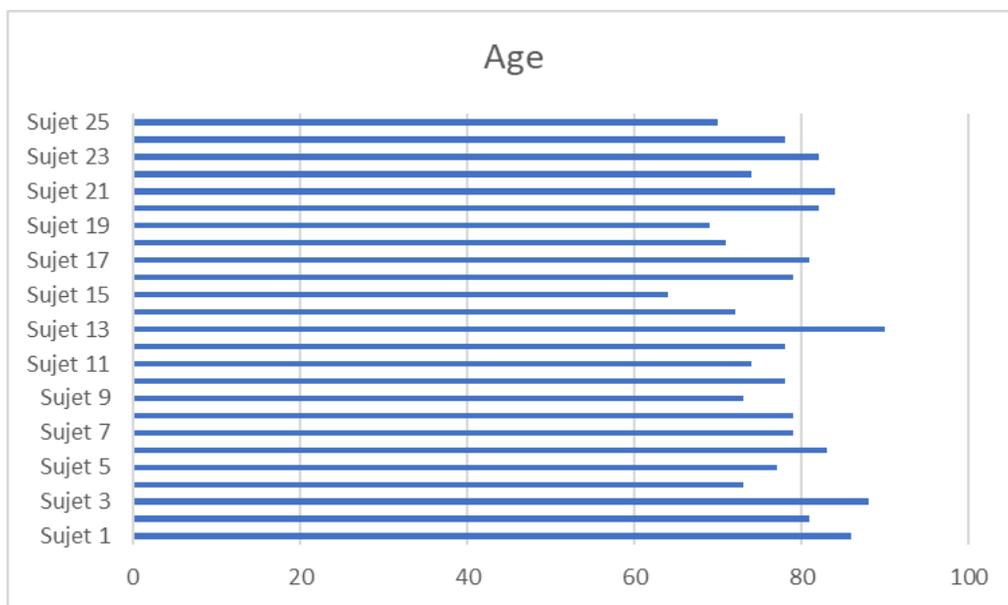


Figure 10 : *Graphique représentant l'âge des différents sujets de l'étude.*

Cette population comprend 11 femmes et 14 hommes.

Les sujets présentent tous une surdité de perception bilatérale. Parmi ces patients, 23 présentent une perte symétrique et 2 ont une perte asymétrique.

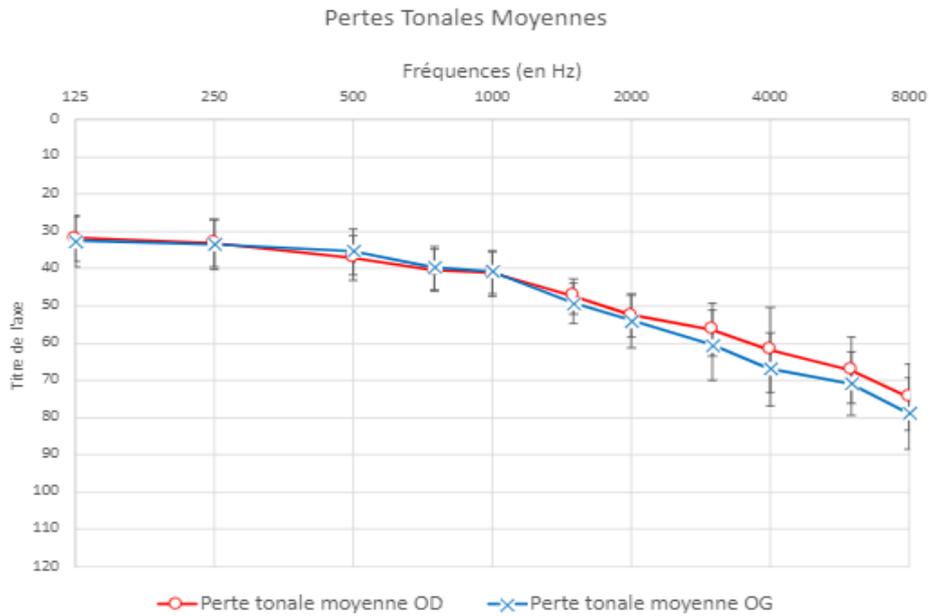


Figure 11 : Audiogramme de la perte tonale moyenne au casque des sujets de l'étude.

Tous les patients devaient être appareillés binauralement et depuis plus de 6 mois, pour s'assurer qu'ils puissent évaluer la différence de réglage. Ils ne devaient présenter aucun problème mnésique afin d'être capable de répondre aux différentes questions et consignes.

Tous les appareils des patients ayant participé à cette étude sont des contours d'oreilles avec écouteurs déportés (RITE) avec leur couplage acoustique d'origine.

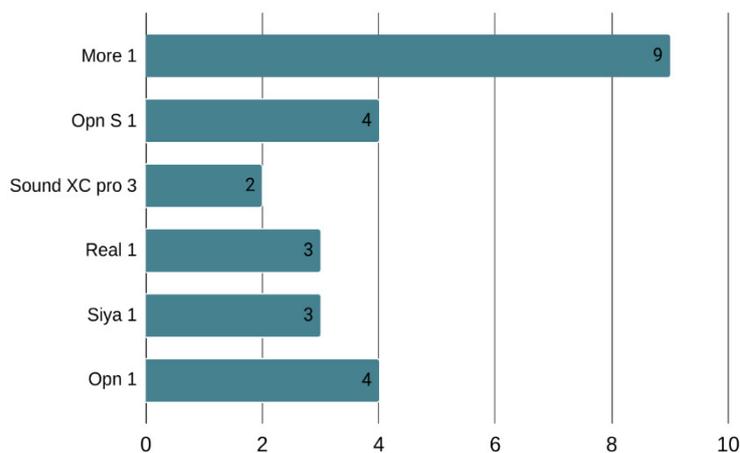


Figure 12 : Graphique représentant la répartition des modèles d'appareils auditifs de nos patients.

Le graphique ci-dessus (Figure 11) montre que 23 des patients sont appareillés en Oticon et 2 en Hansaton.

Pour finir, les sujets testés devaient avoir un data logging supérieur à 7 heures. La moyenne du data logging de nos patients est de 11 heures et 51 minutes, avec comme écart-type 2 heures et 44 minutes.

2. Matériel

Les tests de cette étude ont été réalisés dans une cabine insonorisée. La cabine est équipée d'un casque radioear DD65, de 5 hauts parleurs ainsi que d'un ordinateur sur lequel le logiciel NOAH est installé. Un audiomètre et une chaîne de mesure Interacoustics sont associés à l'ordinateur.

Un otoscope ainsi que des spéculums permettaient d'effectuer des otoscopies sur les patients afin de vérifier que l'oreille externe ne présentait pas de pathologie.

Un questionnaire 15iSSQ a été donné à chaque patient et à chaque rendez-vous.

Pour finir, les données récoltées durant les rendez-vous étaient classées dans les logiciels GOOGLE SHEET et EXCEL et analysées à l'aide du logiciel Jasp.

3. Les différents tests

3.a. Audiométrie tonale

L'audiométrie tonale est réalisée au casque. Elle permet d'obtenir le seuil tonal liminaire du patient. Pour certain patient, le seuil tonal liminaire est différent entre les deux oreilles. C'est ce qu'on appelle une asymétrie. En cas d'asymétrie, il est parfois nécessaire d'assourdir une oreille afin que la meilleure des oreilles ne réponde pas à

la place de l'oreille la plus déficiente. Cela évite donc le transfert transcrânien qui est de 60 dB en conduction aérienne et au casque.

Ce test a aussi été réalisé en CL, avec les AA du patient. Cela nous permettait d'obtenir le seuil prothétique tonal liminaire en champ libre et de mesurer l'évolution de l'audibilité des patients au cours des différents RDV. Il est dans ce cas obligatoire d'obturer l'oreille controlatérale afin qu'elle ne réponde pas à la place de l'oreille testée.

3.b. Diotique, Dichotique et Dichotique inversé

Afin de tester l'intelligibilité des sujets dans le bruit, nous avons utilisé les tests diotique, dichotique (D) et dichotique inversé (DI).

Ces 3 tests étaient réalisés à l'aide d'un bruit de cocktails party dont le niveau d'intensité était choisi lors d'une liste de test. Un bruit de cocktail est constitué de voix superposées et est plus efficace qu'un bruit blanc pour masquer. De plus, il s'approche de l'environnement sonore quotidien et est donc plus familier pour les patients. [1]

Dans notre cabine, le test diotique consistait à l'envoi simultané d'un signal de parole et du bruit de cocktail party sur un haut-parleur placé face au patient.

Le test D consiste à envoyer le bruit de fond sur la meilleure oreille et donc le signal de parole sur l'oreille la plus déficiente.

A l'inverse, le test DI cherche à montrer si l'oreille la plus dégradée, avec le bruit de cocktail party, dégrade le signal de parole. Pour cela, le bruit de fond est envoyé sur l'oreille la plus dégradée et le signal de parole sur la meilleure.

Ces tests permettent de mettre en évidence la compréhension dans le bruit du patient grâce aux réglages de l'audioprothésiste.

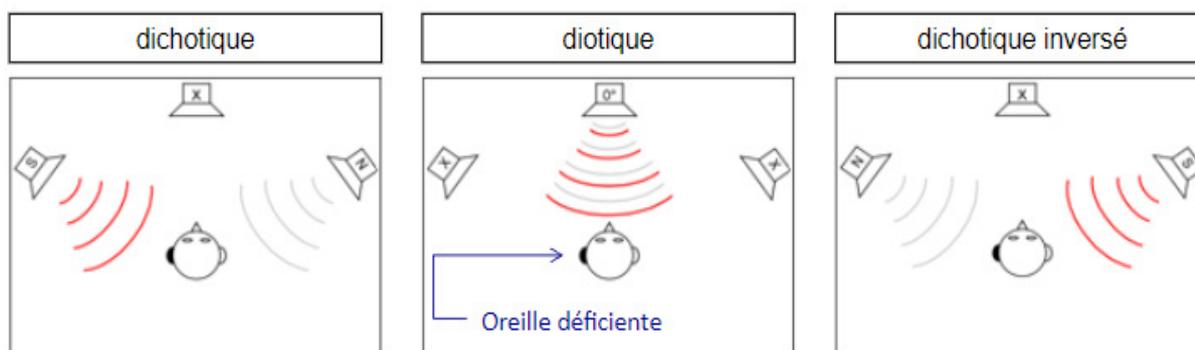


Figure 13 : Graphique représentant les trois tests. L'oreille noire représente l'oreille déficiente. Le signal rouge représente la parole et le signal gris représente le signal de cocktail party. [39]

3.c. Le stéréo-équilibrage

Le stéréo-équilibrage est un test qui consiste à envoyer un son de manière bilatérale en CL. Il peut aussi être réalisé avec deux haut-parleurs placés à gauche et à droite du patient ou comme dans notre cas avec un seul haut-parleur de face et grâce au logiciel d'audiométrie tonale Affinity.

C'est un test subjectif, car le patient doit indiquer avec ses AA si le son lui semble plus fort d'un côté que de l'autre ou s'il lui paraît aussi fort des deux côtés.

En fonction de la réponse du patient, le réglage est modifié dans le but de s'approcher d'une sensation d'intensité égale entre les deux oreilles et donc d'éviter la prédominance d'une oreille.

La procédure de stéréo-équilibrage utilisée dans le présent mémoire est proche de celle décrite dans l'article de SELDRAN et GALLÉGO (2024). Elle est l'aboutissement d'une série de travaux et de mémoires d'audioprothèse réalisés dans les laboratoires Audition Conseil de Lyon. La méthode utilisée sera décrite plus en détail dans la partie suivante. [38]

3.d. Équilibrage de la sonie

L'équilibrage de la sonie a pour objectif de ramener toutes les fréquences à une sensation de sonie égale pour le patient. Pour cela, un envoi différé de deux sons de même intensité mais de fréquence différente a été utilisé. Ces deux sons étaient envoyés à 55 dB HL sur un haut-parleur placé face au patient et grâce au logiciel d'audiométrie tonale Affinity. Après l'envoi des deux signaux, le patient devait déterminer si l'un semblait plus fort que l'autre ou si les deux étaient perçus à la même intensité. Les réglages étaient ensuite modifiés afin d'essayer d'équilibrer au maximum la sonie inter-fréquentiel du patient.

La méthode utilisée dans ce présent mémoire pour l'équilibrage de la sonie est similaire à celle employée par WOLFE et SCHAFER (2015) lors du réglage d'un implant cochléaire. La procédure du test et les modifications de réglage seront détaillées plus précisément dans la partie suivante. [35]

4. Méthode

Les patients de cette étude ont tous été vus 3 fois lors de RDV espacés d'au moins 15 jours. Cet intervalle de temps permettait au patient de s'habituer aux réglages mais aussi d'avoir un recul dessus. Chaque patient a suivi la même procédure lors des RDV.

4.a. Premier rendez-vous

Lors de l'arrivée du patient, le questionnaire 15iSSQ était donné aux patients et les consignes étaient expliquées. Pendant que les patients répondaient au questionnaire, nous en profitons pour nettoyer leurs AA. Une otoscopie était ensuite

réalisée afin de vérifier qu'il n'y avait aucune pathologie de l'oreille externe. L'audiométrie tonale au casque était la première mesure testée. Nous mesurons le seuil tonal liminaire de chaque patient par bande de demi-octave allant de 125 Hz à 8kHz, avec un pas de 5 dB. La meilleure oreille était toujours testée la première. Nous continuions avec la mesure du seuil prothétique tonal liminaire avec les AA en CL. Cette fois ci, nous testions aussi par bande de demi-octave mais de 250 Hz à 8kHz. Le pas était aussi de 5 dB.

Nous réalisions ensuite les différents tests vocaux dans le bruit (diotique, D, DI). Pour ces tests, nous utilisons les listes cochléaires de LAFON, contenant toutes 17 mots. Chaque mot de ces listes est décomposé en 3 phonèmes, ce qui fait un total de 51 phonèmes par liste.

Il existe 20 listes (annexe 1). Chaque liste a pour intensité fixe et pour tous les patients, 60 dB HL. Le bruit de fond utilisé était un bruit de cocktail party, avec une intensité que nous définissions grâce à une liste de balayage. Celle-ci était envoyée avec un RSB de + 3 dB.

Pour cette liste, si le patient avait moins de 30% d'intelligibilité (moins de 16 phonèmes), nous passions sur un RSB de + 6 dB pour chaque autre liste testée.

Nous avons testé 16 patients avec un RSB de + 3 dB et 9 avec un RSB de + 6 dB comme le montre le graphique ci-dessous (Figure 13).

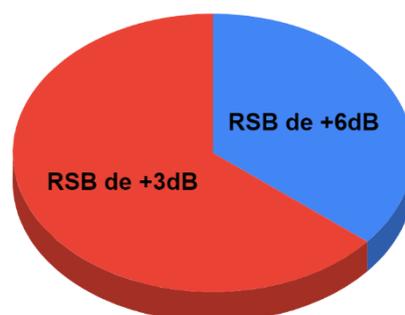


Figure 14 : *Graphique représentant la répartition des RSB (+3dB en rouge et +6dB en bleu).*

Pour chaque test, une liste d'échauffement était mise en place afin que le patient s'acclimate au test.

Nous testions dans un premier temps la compréhension de façon diotique grâce aux listes 1 et 2 puis en D avec les listes 3 et 4 et pour finir en DI avec les listes 5 et 6.

Nous réalisons ensuite le stéréo-équilibrage, testé entre 250 Hz et 6 kHz par bande de demi-octave grâce à un son continu et wobulé à 55 dB HL. La fréquence 1000 Hz était testée en première, nous balayons ensuite les fréquences aiguës puis graves.

La consigne suivante était donnée : “ Un son va être envoyé du haut-parleur placé face à vous, il faudra nous dire s'il vous paraît plus fort d'un côté que de l'autre ou s'il vous paraît aussi fort des deux côtés.”

Grâce aux réponses du patient nous pouvions équilibrer le réglage de ses aides auditives par rapport à son ressenti. Pour ce faire, nous ajustions le gain des sons de moyenne intensité en augmentant d'abord d'un cran le gain de l'oreille non prédominante. Si l'équilibre n'était pas atteint, nous augmentions de nouveau le gain du côté non dominant. Et, en cas de récurrence, nous réduisions ensuite le gain de l'oreille dominante.

Chaque fréquence était testée plusieurs fois afin d'obtenir des réponses aussi précises que possible. Le but étant d'obtenir une audition stéréophonique.

4.b. Deuxième rendez-vous

Lors du deuxième RDV, nous procédions de la même manière que lors du premier RDV. Le questionnaire était donné avec pour consigne : “Cette fois-ci, vous répondrez au questionnaire en vous référant aux deux dernières semaines passées avec vos appareils” et un nettoyage était effectué sur les AA. L'otoscopie était réalisée.

Nous mesurons ensuite le seuil liminaire tonal prothétique avec AA en CL. Les tests diotiques, D et DI étaient réalisés dans les mêmes conditions sauf pour le numéro des listes. Nous utilisons la 7 et la 8 pour le test diotique, 9 et 10 pour le test D et 11 et 12 pour le test DI.

Pour finir, nous réalisons l'équilibrage de la sonie entre les différentes fréquences. Pour cela, nous utilisons un son continu et wobulé à 55 dB HL et parcourons les fréquences de 250 Hz à 6 kHz. Nous comparons le ressenti du patient entre chaque fréquence en commençant par 250 Hz et en finissant par 6 kHz. Les fréquences testées n'étaient pas nécessairement adjacentes, et la fréquence la plus grave était toujours envoyée en premier.

La consigne suivante était donnée au patient : “ deux sons vont vous être envoyés l'un après l'autre sur le haut-parleur placé face à vous. Les sons n'ont pas la même fréquence et sont donc différents. Le but étant que vous nous indiquiez si un son est plus fort que l'autre ou s'il vous semble aussi fort l'un que l'autre.”

Les réglages étaient ensuite modifiés en fonction des réponses du patient afin d'équilibrer au maximum la sensation de sonie du patient entre les différentes fréquences. Pour cela, nous augmentons le gain des sons moyens de la fréquence qui était entendu avec une sensation d'intensité moins importante. Chaque modification de réglage était ensuite retestée afin de limiter les erreurs.

4.c. Troisième rendez-vous

Lors de ce dernier rendez-vous, le questionnaire était distribué aux patients avec la même consigne que lors du deuxième RDV, le nettoyage des AA et l'otoscopie était aussi réalisé. Tous les tests étaient ensuite effectués dans les mêmes conditions

mise à part, le test diotique qui utilisait les listes 13 et 14, le test D, les listes 15 et 16 et pour finir le test DI, les listes 17 et 18.

Une fois tous les tests finis, nous proposons au patient de conserver les réglages que nous lui avons fait ou de revenir sur un précédent réglage.

Sur les 25 patients ayant participé à l'étude, 20 ont gardé les réglages modifiés lors de nos rendez-vous.

Résultat

Pour rappel, ce mémoire a pour but de déterminer s'il est utile de rajouter un équilibrage de la sonie entre les différentes fréquences en plus du stéréo-équilibrage.

Dans cette section, l'analyse des données récupérées au cours de l'étude va être réalisée, notamment grâce au logiciel Jasp et Excel. Les données seront traitées de trois manières. Dans un premier temps, nous verrons l'effet du stéréo-équilibrage en comparant des données du jour 0 au jour 15. L'effet de l'équilibre de la sonie sera ensuite analysé en comparant les données du jour 15 au jour 30. Pour finir, l'évolution globale entre le jour 0 et le jour 30 sera étudiée. Nous allons utiliser différents tests statistiques, notamment :

-Le test de Wilcoxon est une approche statistique utilisée pour comparer deux séries de données quantitatives identiques, partageant la même unité de mesure. Il est non paramétrique, ce qui signifie qu'il peut être appliqué lorsque les conditions de normalité ne sont pas vérifiées pour la variable en question. Ce test compare les deux séries en évaluant les rangs de leurs valeurs respectives. [40]

-Le test T de Student est employé dans la comparaison des données quantitatives. Il permet de comparer les moyennes de deux groupes de sujets. Il existe deux variantes de ce test : une pour les données appariées et une pour les données indépendantes. [41]

-La corrélation de Spearman qui permet de mettre en relation des données qui ne sont pas distribuées normalement.

1. Comparaison des résultats entre le jour 0 et le jour 15

1.a. Tests diotique, D et DI

Les résultats des tests diotique, D et DI ont été analysés à l'aide des tests de Student et Wilcoxon en fonction de la normalité des données. Nous avons obtenu des résultats significatifs (Figure 14), ce qui signifie que le stéréo-équilibre effectué entre le jour 0 et le jour 15 a eu un impact positif sur le réglage et donc sur le nombre de phonèmes répétés correctement. On remarque aussi une différence significative entre l'écart de phonèmes répétés sur le test D et DI, ce qui montre que le stéréo-équilibre réduit significativement le déséquilibre entre les deux oreilles.

	Diotique	D	DI	$\Delta D/DI$
Jour 0	$\mu = 30,76$ $\sigma = 7,03$	$\mu = 24,6$ $\sigma = 8,10$	$\mu = 27,6$ $\sigma = 8,89$	$\mu = 3$ $\sigma = 4,55$
Jour 15	$\mu = 34,72$ $\sigma = 7,38$	$\mu = 28,48$ $\sigma = 8,91$	$\mu = 30,44$ $\sigma = 9,01$	$\mu = 1,96$ $\sigma = 3,56$
Δ avant/après	$\mu = 3,96$ $\sigma = 2,51$	$\mu = 3,88$ $\sigma = 2,07$	$\mu = 2,84$ $\sigma = 1,91$	$\mu = 1,04$ $\sigma = 2,51$
p-value	0,001*	0,001*	0,001*	0,019*

Figure 15 : Tableau montrant la moyenne, l'écart-type ainsi que la significativité des tests statistiques entre le jour 0 et le jour 15. Le p-value indique le résultat des tests de Student ou de Wilcoxon avec un risque de 5%. * indique que la différence est significative au risque de 5%.

1.b. Seuil prothétique tonal liminaire en champ libre

La figure ci-dessous (Figure 15) représente l'évolution du seuil prothétique tonal liminaire entre le jour 0 et le jour 15. A gauche est représenté l'évolution de la meilleure oreille et à droite de l'oreille la plus dégradée. On observe grâce aux tests de Student ou de Wilcoxon une différence significative sur certaines fréquences. En effet, les seuils aux fréquences 250 et 750 Hz de la meilleure oreille ainsi que les fréquences 250 et 1000 de l'oreille la plus atteinte montrent une différence significative entre les deux RDV. La fréquence 6000 Hz de l'oreille la plus atteinte montre aussi une différence significative. Cette différence est à l'inverse des autres puisque le seuil prothétique tonal plus bas au jour 15.

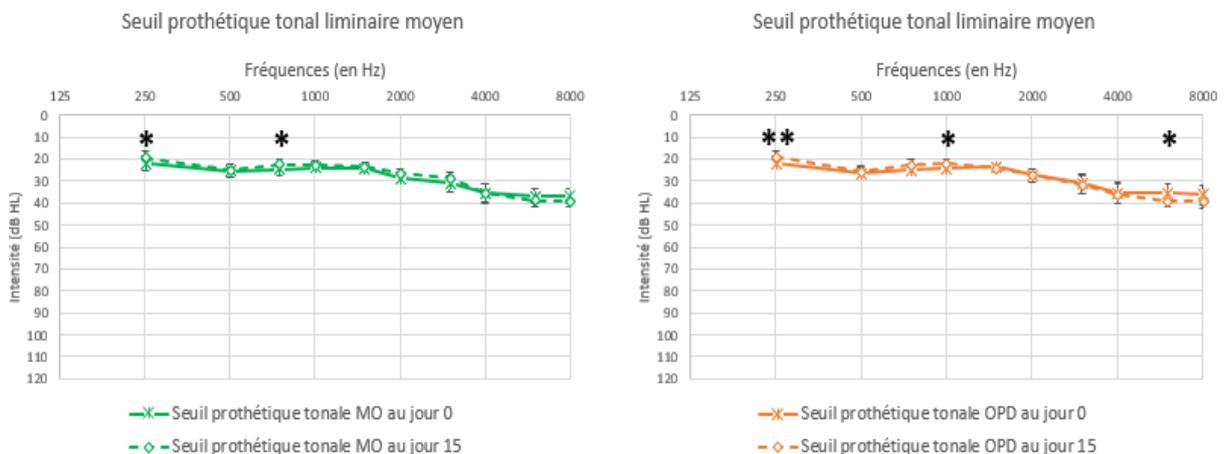


Figure 16 : Audiogramme du seuil prothétique tonal liminaire entre le jour 0 et le jour 15. En vert les seuils de la meilleure oreille et en orange les seuils de l'oreille la plus dégradée.

1.c. Questionnaire 15iSSQ

Les résultats au questionnaire 15iSSQ entre le jour 0 et le jour 15 n'ont rien montré de significatif. Malgré une amélioration des résultats aux tests diotique, D et DI, on remarque même une tendance de régression dans les réponses des patients. (Figures 16 et 17)

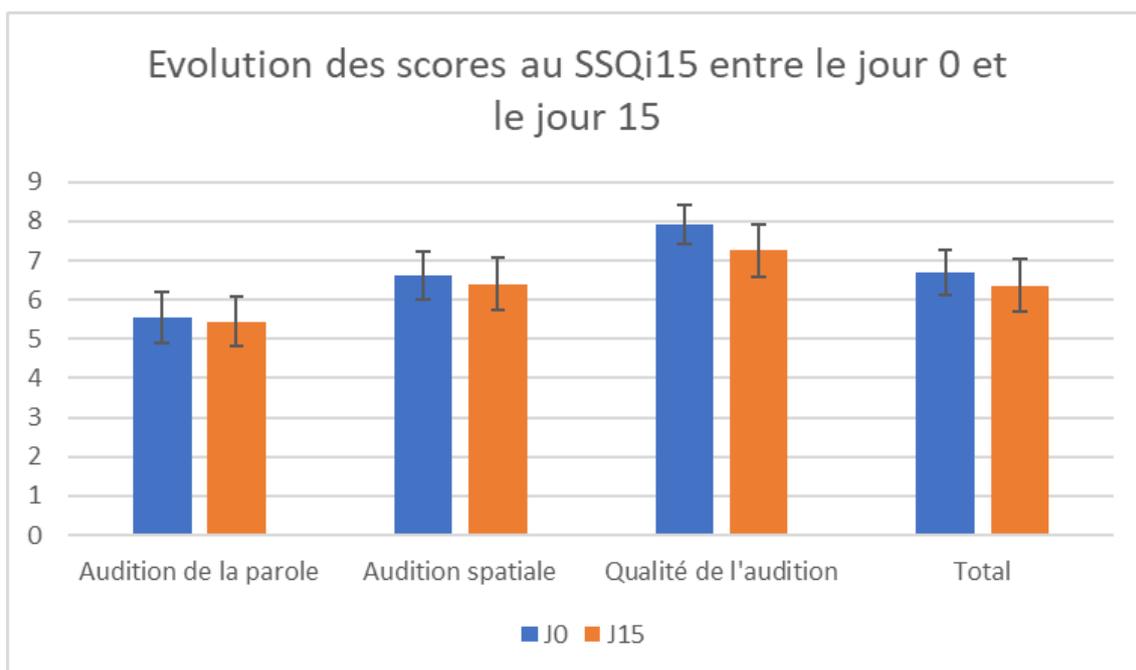


Figure 17 : Histogramme représentant la moyenne et l'erreur standard des réponses obtenues au questionnaire 15iSSQ et à ses sous-parties en bleu au jour 0 et en orange au jour 15.

	Δ Audition de la parole	Δ Audition spatiale	Δ Qualité de l'audition	Δ 15iSSQ total
Δ Jour0/Jour15	$\mu = -0,10$ $\sigma = 1,67$	$\mu = -0,22$ $\sigma = 1,42$	$\mu = -0,65$ $\sigma = 1,42$	$\mu = -0,32$ $\sigma = 1,33$
p-value	0,562	0,772	0,993	0,777

Figure 18 : Tableau montrant la moyenne, l'écart-type ainsi que la significativité des tests statistiques pour les Δ du 15iSSQ entre le jour 0 et le jour 15. Le p-value indique le résultat des tests de Student ou de Wilcoxon avec un risque de 5%.

Grâce à une corrélation de Spearman, nous avons pu cependant mettre en évidence quelques corrélations au risque de 5% entre le questionnaire et les tests Diotique, D et DI :

- Audition de la parole avec résultats au test Diotique au jour 15 :
R = 0,619; p = 0,001***
- Audition de la parole avec résultats au test D au jour 15 :
R = 0,454; p = 0,023*
- Audition de la parole avec résultats au test DI au jour 15 :
R = 0,492; p = 0,012*

2. Comparaison des résultats entre le jour 15 et le jour 30

2.a. Tests diotique, D et DI

L'analyse des résultats entre le jour 15 et le jour 30 a aussi été réalisée. Les patients ont bénéficié au jour 15 d'un réglage ayant pour but d'équilibrer la sonie entre les différentes fréquences. Les résultats obtenus à l'aide des tests de Student et de Wilcoxon sont significatifs, ce qui signifie que les scores au tests diotique, D et DI ont été améliorés (Figure 18). Cependant la différence entre le test D et DI n'est pas significative.

	Diotique	D	DI	$\Delta D/DI$
Jour 15	$\mu = 34,72$ $\sigma = 7,38$	$\mu = 28,48$ $\sigma = 8,91$	$\mu = 30,44$ $\sigma = 9,01$	$\mu = 1,96$ $\sigma = 3,56$
Jour 30	$\mu = 36,68$ $\sigma = 6,92$	$\mu = 30,36$ $\sigma = 7,91$	$\mu = 31,72$ $\sigma = 8,22$	$\mu = 1,36$ $\sigma = 3,64$
Δ avant/après	$\mu = 1,96$ $\sigma = 3,14$	$\mu = 1,88$ $\sigma = 2,26$	$\mu = 1,28$ $\sigma = 2,19$	$\mu = 0,6$ $\sigma = 2,65$
p-value	0,002*	0,001*	0,006*	0,257

Figure 19 : Tableau montrant la moyenne, l'écart-type ainsi que la significativité des tests statistiques entre le jour 15 et le jour 30. Le p-value indique le résultat des tests de Student ou de Wilcoxon avec un risque de 5%. * indique que la différence est significative au risque de 5%.

2.b. Seuil prothétique tonal liminaire en champ libre

Entre le deuxième et le troisième RDV, nous n'observons aucune différence significative entre les seuils prothétiques tonaux.

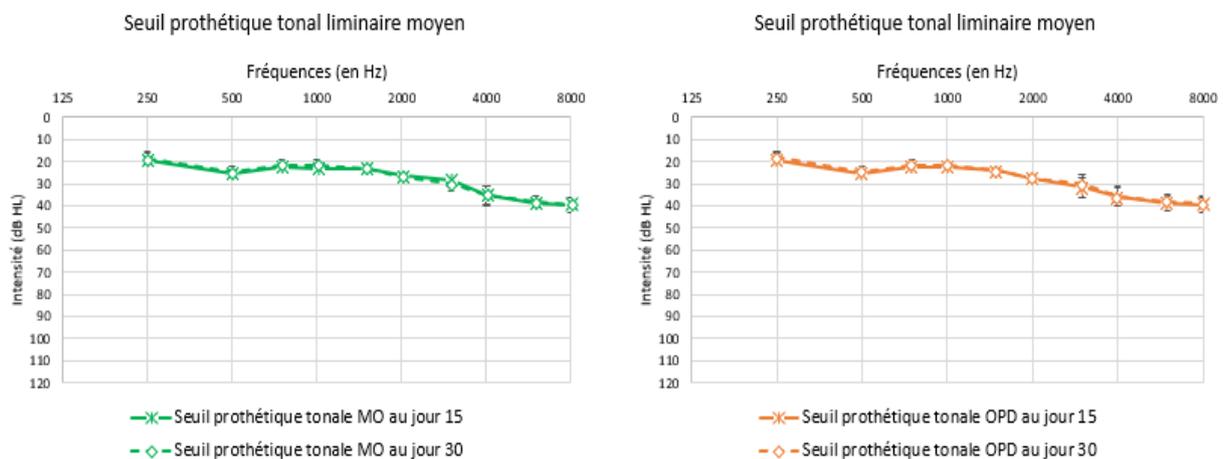


Figure 20 : Audiogramme du seuil prothétique tonal liminaire entre le jour 15 et le jour 30. En vert les seuils de la meilleure oreille et en orange les seuils de l'oreille la plus dégradée.

2.c. Questionnaire 15iSSQ

Au niveau du questionnaire, les sous parties “audition de la parole” et “audition spatiale” ainsi que les réponses totales du questionnaire montrent une différence significative (Figure 20 et 21). La sous partie “qualité de l’audition” ne montre aucune différence significative.

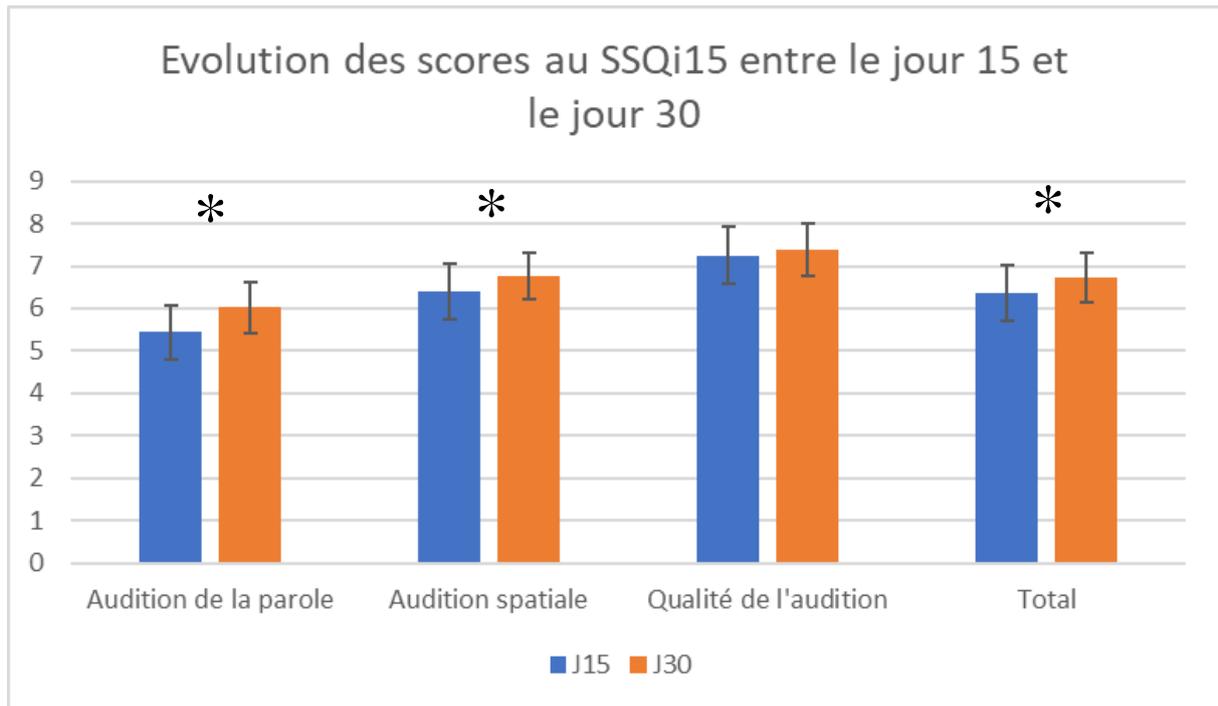


Figure 21 : Histogramme représentant la moyenne et l’erreur standard des réponses obtenues au questionnaire 15iSSQ et à ses sous-parties en bleu au jour 15 et en orange au jour 30.

	Δ Audition de la parole	Δ Audition spatiale	Δ Qualité de l'audition	Δ 15iSSQ total
Δ Jour15/Jour30	$\mu = 0,58$ $\sigma = 0,85$	$\mu = 0,36$ $\sigma = 0,93$	$\mu = 0,12$ $\sigma = 0,71$	$\mu = 0,35$ $\sigma = 0,64$
p-value	0,002*	0,032*	0,157	0,003*

Figure 22 : Tableau montrant la moyenne, l’écart-type ainsi que la significativité des tests statistiques pour les Δ du 15iSSQ entre le jour 15 et le jour 30. Le p-value indique le résultat des tests de Student ou de Wilcoxon avec un risque de 5%. * indique que la différence est significative au risque de 5%.

Grâce à une corrélation de Spearman, nous avons aussi pu mettre en évidence quelques corrélations au risque de 5% entre le 15iSSQ et les tests Diotique, D et DI au jour 30 :

- Audition de la parole avec résultats au test Diotique au jour 30 :
 $R = 0,413$; $p = 0,040^*$
- Audition de la parole avec résultats au test D au jour 30 :
 $R = 0,400$; $p = 0,047^*$
- Audition de la parole avec résultats au test DI au jour 30 :
 $R = 0,409$; $p = 0,042^*$

3. Comparaison des résultats entre le jour 0 et le jour 30

Pour finir, nous allons analyser l'étude dans sa globalité. Pour cela les résultats obtenus lors du premier RDV et du dernier RDV seront comparés. Pour rappel, au trentième jour, les patients ont reçu deux modifications de leur réglage : un stéréo-équilibrage et un équilibrage de la sonie entre les différentes fréquences.

3.a. Tests diotique, D et DI

Pour ce qui est des tests diotiques, D et DI, les tests de Student et de Wilcoxon montrent une différence significative. En effet, les p-value de chaque test, au risque de 5%, indiquent l'amélioration des résultats entre le jour 0 et le jour 30 (Figure 22 et 23). Les différents réglages effectués au cours des deux RDV ont donc bien eu un effet positif sur les réponses des patients lors des différents tests.

	Diotique	D	DI	$\Delta D/DI$
Jour 0	$\mu = 30,76$ $\sigma = 7,03$	$\mu = 24,6$ $\sigma = 8,10$	$\mu = 27,6$ $\sigma = 8,89$	$\mu = 3$ $\sigma = 4,55$
Jour 30	$\mu = 36,68$ $\sigma = 6,92$	$\mu = 30,36$ $\sigma = 7,91$	$\mu = 31,72$ $\sigma = 8,22$	$\mu = 1,36$ $\sigma = 3,64$
Δ avant/après	$\mu = 5,92$ $\sigma = 3,79$	$\mu = 5,76$ $\sigma = 2,31$	$\mu = 4,12$ $\sigma = 2,40$	$\mu = 1,64$ $\sigma = 3,34$
p-value	0,001*	0,001*	0,001*	0,012*

Figure 23 : Tableau montrant la moyenne, l'écart-type ainsi que la significativité des tests statistiques entre le jour 0 et le jour 30. Le p-value indique le résultat des tests de Student ou de Wilcoxon avec un risque de 5%. * indique que la différence est significative au risque de 5%.

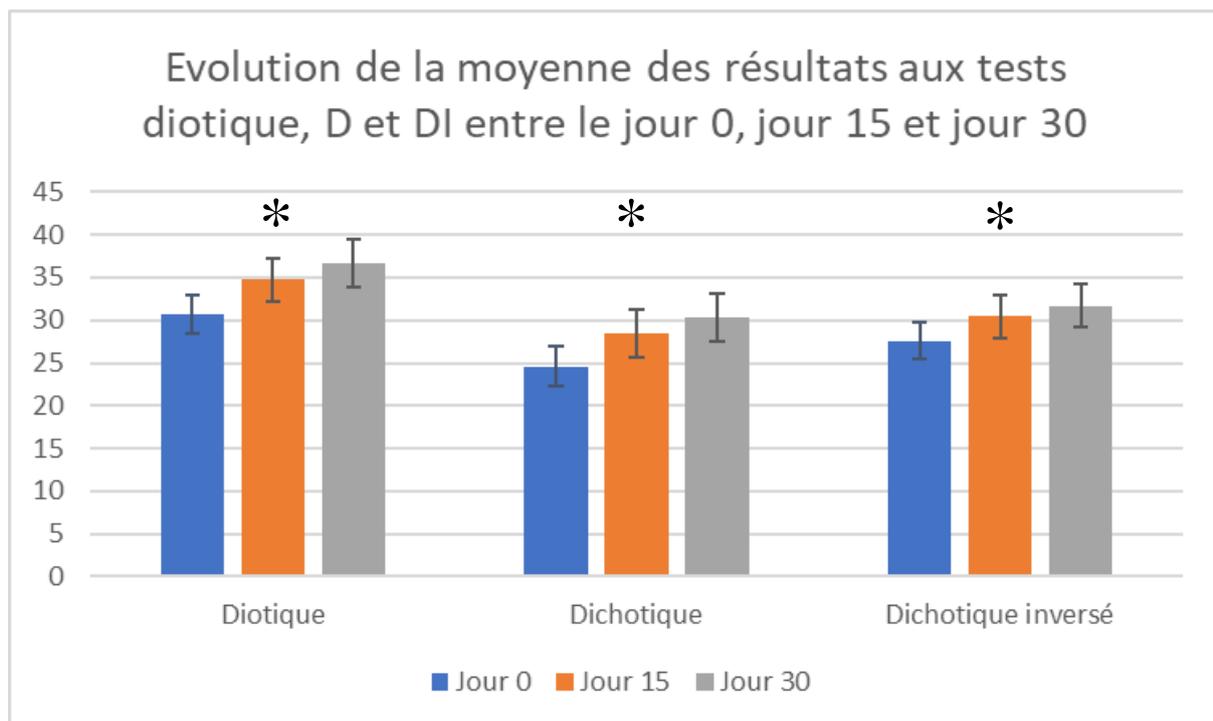


Figure 24 : Histogramme relatant l'évolution de la moyenne des réponses obtenues aux tests diotique, D et DI entre le premier RDV et le dernier. L'erreur standard est représentée.

3.b. Seuil prothétique tonal liminaire en champ libre

L'évolution global des seuils prothétiques tonals de nos patients ont montré quelques différences significatives. Les fréquences 250 et 750 Hz de la meilleure oreille montre une différence significative entre les deux RDV. De même pour les fréquences 250, 500 et 750 Hz de l'oreille la plus dégradée (Figure 24).

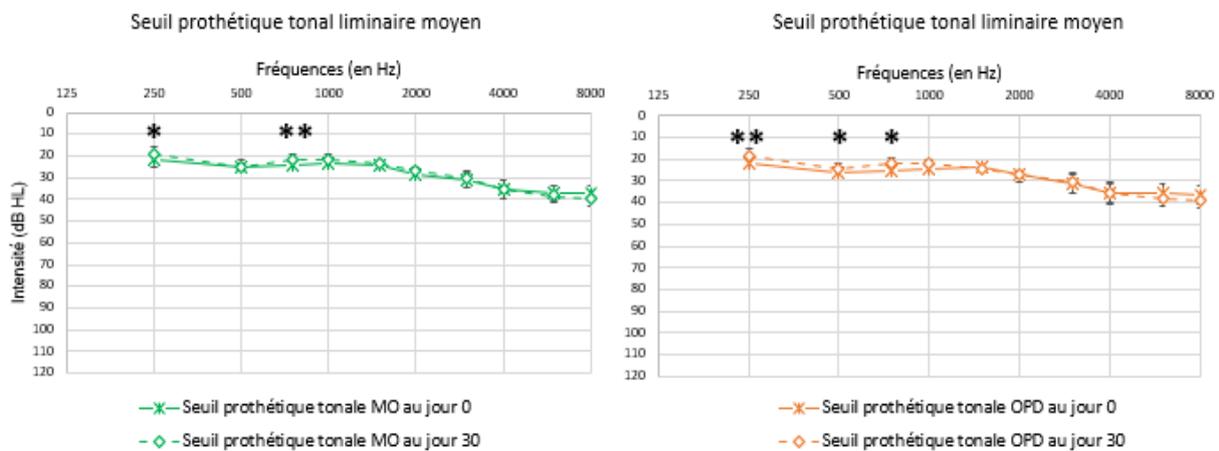


Figure 25 : Audiogramme du seuil prothétique tonal liminaire entre le jour 15 et le jour 30. En vert les seuils de la meilleure oreille et en orange les seuils de l'oreille la plus dégradée.

3.c. Questionnaire 15iSSQ

Les réponses au questionnaire 15iSSQ n'ont pas évolué de manière significative entre le jour 0 et le jour 30. On observe quand même une légère évolution de la moyenne. Les sous parties "audition de la parole" et "audition spatiale" ont elles aussi augmenté mais nous n'avons pas trouvé de différences significatives (Figure 25 et 26).

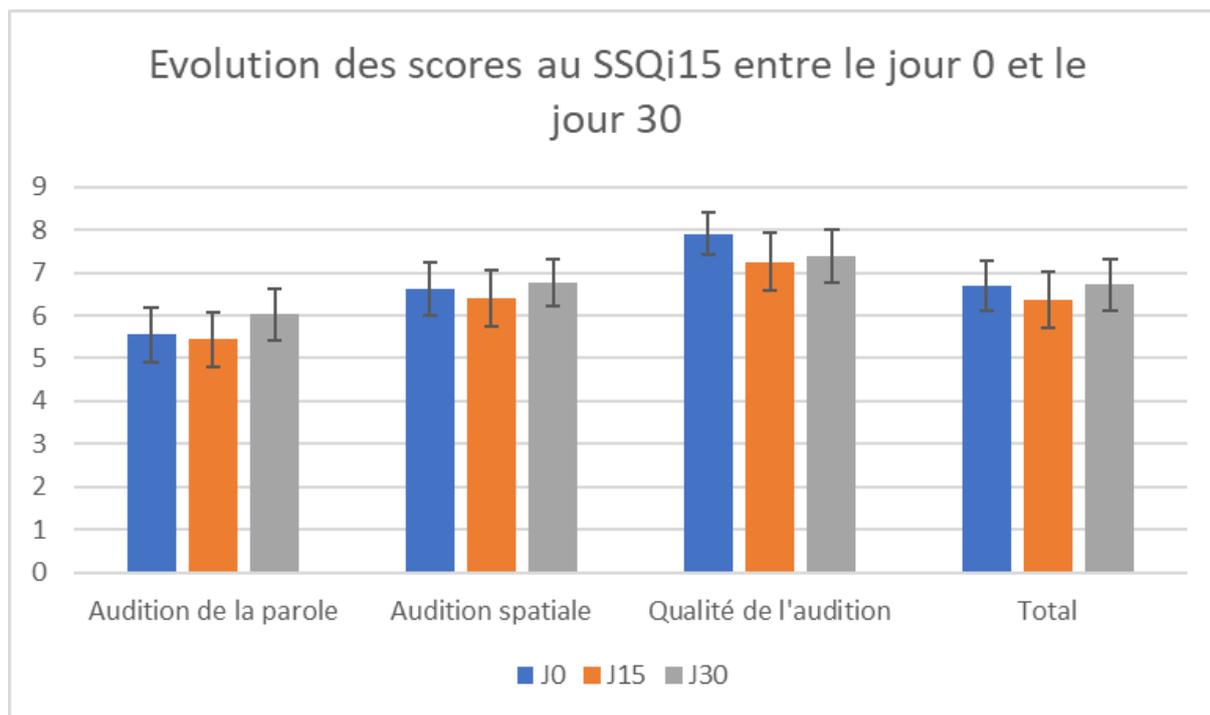


Figure 26 : Histogramme représentant la moyenne et l'erreur standard des réponses obtenues au questionnaire 15iSSQ et à ses sous-parties. En bleu est représenté le jour 0, en orange le jour 15 et en gris le jour 30.

	Δ Audition de la parole	Δ Audition spatiale	Δ Qualité de l'audition	Δ 15iSSQ total
Δ Jour0/Jour30	$\mu = 0,47$ $\sigma = 1,80$	$\mu = 0,14$ $\sigma = 1,50$	$\mu = -0,53$ $\sigma = 1,18$	$\mu = 0,03$ $\sigma = 1,29$
p-value	0,1	0,263	0,98	0,458

Figure 27 : Tableau montrant la moyenne, l'écart-type ainsi que la significativité des tests statistiques pour les Δ du 15iSSQ entre le jour 0 et le jour 30. Le p-value indique le résultat des tests de Student ou de Wilcoxon avec un risque de 5%.

Discussion

Ce mémoire a pour objectif de voir si le rajout d'un équilibrage de la sonie entre les différentes fréquences à un stéréo-équilibrage permet d'améliorer la compréhension dans le bruit de nos patients.

1. Le stéréo-équilibrage

Les analyses statistiques ont permis de mettre en évidence une amélioration significative des résultats aux tests diotiques, D et DI, chez nos patients suite au stéréo-équilibrage. De plus, les données ont également révélé qu'après réglage, la disparité entre les résultats des tests D et DI a été significativement réduite. La réduction de l'écart entre les résultats des tests D et DI implique donc une amélioration des scores pour l'oreille initialement la plus déficiente. En d'autres termes, nous avons réussi à renforcer les capacités auditives de l'oreille présentant des difficultés initiales.

Cependant, nous avons trouvé des différences significatives sur certaines fréquences du seuil prothétique tonal liminaire entre le jour 0 et le jour 15. En effet, à 250 Hz et 750 Hz sur les bonnes oreilles des patients ainsi qu'à 250 et 1000 Hz sur les oreilles les plus déficientes, les tests statistiques montrent une différence significative. Cette différence indique que l'amélioration obtenue n'est pas entièrement liée à nos réglages faisant suite au stéréo-équilibrage. En effet le seuil prothétique étant meilleur lors du deuxième RDV, cela signifie qu'il a été donné plus d'audibilité au patient. Nous ne pouvons donc pas attribuer tout le mérite à notre réglage car une part est aussi due à l'augmentation de l'audibilité. De plus, un effet d'apprentissage peut aussi causer cette évolution de nos résultats. Bien que le mémoire de Lisa MALCOIFFE indique que les améliorations sont dues au stéréo-équilibrage. [5]

Les résultats de ce mémoire confirment ceux ayant été obtenus lors de précédentes études, notamment dans l'étude de Emma VIDAL qui trouve aussi une amélioration significative aux tests D et DI ainsi qu'une réduction de la différence entre ces deux tests. [4] Ces résultats ont aussi été mis en évidence dans l'étude de Lisa MALCOIFFE. [5]

Pour conclure, l'amélioration des résultats entre le jour 0 et le jour 15 est significative. L'écart des scores entre les deux oreilles a aussi significativement diminué. Nous ne pouvons pas définir la part qui est due au stéréo-équilibre, celle due à l'augmentation de l'audibilité des patients et celle de l'effet d'apprentissage.

2. Équilibre de la sonie entre les fréquences

L'équilibre de la sonie entre les différentes fréquences a été effectué entre le jour 15 et le jour 30. Les résultats entre les deux RDV ont eux aussi été significativement améliorés. En effet, les patients ont obtenu de meilleurs résultats aux tests diotiques, D et DI. La différence entre le test D et DI n'a pas été diminuée significativement bien que la moyenne ait légèrement évolué à la baisse.

On peut noter cependant qu'entre les deux RDV, le seuil prothétique n'a pas montré de différence significative. L'audibilité n'a donc pas influencé les résultats obtenus. Néanmoins, le phénomène d'apprentissage peut être responsable de cette amélioration. En effet, le fait de reproduire les tests à plusieurs reprises, peut permettre au patient d'améliorer ses performances.

Dans la littérature, on retrouve le mémoire de Sébastien PRADEL qui a effectué un équilibre isosonique ainsi qu'un stéréo-équilibre. [31] Le protocole utilisé dans

son mémoire n'est pas exactement le même que celui que nous avons utilisé. Cependant on peut noter que son étude montre une amélioration des résultats patients lorsqu'il corrige un réglage déjà fait à l'aide de l'équilibrage isosonique. La méthode n'étant pas similaire, le fond reste le même et l'amélioration des résultats obtenus dans ce mémoire est assez similaire à ceux obtenues dans son étude.

Nous pouvons conclure, grâce à ce mémoire que les scores de nos patients ont significativement évolué. Malheureusement le réglage effectué en fonction des réponses des patients n'a pas réduit davantage l'écart entre les réponses de la meilleure oreille et de la plus dégradée. On ne peut pas non plus négliger la part de l'effet d'apprentissage qui joue certainement un rôle sur les résultats.

3. Le questionnaire 15iSSQ

Les réponses au questionnaire entre le jour 0 et le jour 15 n'ont rien montré de significatif. On observe même une diminution de la moyenne entre les deux RDV qui peut être expliquée par une surestimation de soi. Effectivement, lors du premier RDV, les patients ne sont pas conscients des questions du questionnaire. S'ils se sentent à l'aise avec leur AA, ils peuvent avoir tendance à surestimer leurs réponses. Ce n'est plus le cas lors du deuxième RDV et leurs notes auront plus tendance à être proche de la réalité. Dans la littérature, les réponses au questionnaire n'évoluent pas toujours de manière significative comme dans le mémoire de d'Emma VIDAL. [4] Les moyennes obtenues dans son étude ont tendance à s'améliorer contrairement à cette étude.

Néanmoins les sous parties "audition de la parole" et "audition spatiale" ainsi que les réponses totales du questionnaire entre le jour 15 et le jour 30 montrent une

évolution significative. La sous partie “qualité de l’audition” ne montre aucune amélioration significative.

Au jour 30, les moyennes au questionnaire se retrouvent proches de celles du jour 0. Nous n’observons donc aucune amélioration significative entre le premier et le dernier RDV au niveau du 15iSSQ. Bien que, les moyennes lors du dernier RDV soient un peu meilleures que celles observées lors du premier RDV (hormis la sous-partie ‘qualité de l’audition’).

4. Limites de l’étude

4.a. L’échantillon

Le nombre de patients ayant participé à l’étude est de 25, il est donc difficile de confirmer les résultats obtenus. En effet un plus grand échantillon de patient pourrait permettre de justifier plus amplement les améliorations observées.

4.b. Durée entre les rendez-vous

Chaque RDV était espacé de 15 jours afin que le patient puisse prendre conscience de son nouveau réglage et de s’y habituer. Cette période étant assez courte, il serait intéressant d’évaluer les réglages sur une période plus longue, notamment pour le 15iSSQ car les patients n’ont pas le temps de rencontrer toutes les situations énoncées dans le questionnaire.

4.c. Durée des tests et choix du RSB

Lors de chaque RDV, le patient devait réaliser un nombre de test important. En effet, un questionnaire, une recherche de seuil ainsi que six listes de test vocal étaient demandés aux patients. Le cumul de tous ces tests peut entraîner de la fatigue et de la déconcentration. De plus, le choix du RSB est important. Si le RSB choisit est trop petit, les patients peuvent avoir tendance à se désintéresser du test car il serait trop compliqué.

4.d. Subjectivité des tests et des réponses au 15iSSQ

Les réglages effectués lors des différents RDV étaient basés sur les réponses des patients lors de nos tests. Or le stéréo-équilibre et l'équilibre de la sonie entre les différentes fréquences sont deux tests très subjectifs. Pour certains patients, les réponses pouvaient être différentes d'une fois à l'autre. Chaque point était testé plusieurs fois, mais nous ne pouvions être sûr à 100% de la réponse donnée par le patient.

On retrouve cette même problématique pour le 15iSSQ. Ne l'ayant jamais réalisé auparavant, les patients répondaient en fonction de leurs souvenirs et de leur satisfaction à l'égard des AA. Les réponses au premier RDV ne sont donc pas forcément fiables. Certaines réponses ont aussi probablement été mise de mémoire notamment lorsque que les patients n'ont pas rencontrées la situation demandée dans le questionnaire récemment.

4.e. Effet d'apprentissage

La répétition des tests au cours des RDV peut favoriser l'effet d'apprentissage des patients. On ne peut donc pas confirmer que l'équilibrage de la sonie entre les différentes fréquences soit vraiment efficace. Il serait donc intéressant de faire une autre étude en utilisant la méthode du test-retest afin d'écartier la piste de l'effet d'apprentissage.

4.f. Couplage acoustique

Les patients ayant participé à l'étude n'ont pas tous le même couplage acoustique. En effet, leur couplage acoustique n'a pas été modifié pour les tests de ce mémoire. Les résultats aux audiométries vocales dans le bruit peuvent donc varier en fonction du couplage acoustique du patient.

4.g. Equilibrage des sons forts et sensation de sonie

Lors du stéréo-équilibrage, une seule intensité a été testée. De meilleurs résultats auraient pu être obtenus en testant plusieurs intensités, notamment les fortes intensités. De plus, lors de l'équilibrage de la sonie, les différences de perception de sonie entre chaque fréquence n'ont pas été prises en compte. Par conséquent, les ajustements effectués après ce test ne sont pas forcément corrects. Il aurait été préférable de considérer la perception de sonie par fréquence pour améliorer les résultats.

Conclusion

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'utilité de rajouter un équilibrage de la sonie entre les différentes fréquences à un stéréo-équilibrage. On cherche donc à savoir si cet ajout permettrait d'améliorer la compréhension dans le bruit de nos patients.

Bien qu'une partie de cette amélioration puisse être due à un gain d'audibilité, l'importance de réaliser un stéréo-équilibrage a encore été démontrée dans cette étude. En effet, les résultats aux tests de compréhension dans le bruit ont significativement été améliorés après le stéréo-équilibrage. De plus, l'écart entre les deux oreilles a diminué significativement.

Le 15iSSQ n'a lui rien montré de significatif entre le jour 0 et le jour 30.

L'équilibrage de la sonie entre les différentes fréquences a montré une amélioration significative de l'intelligibilité dans le bruit de nos patients. Cependant, nous ne pouvons pas définir la part due à notre réglage et celle due à l'effet d'apprentissage.

Il serait donc intéressant, dans une prochaine étude, de définir l'impact de l'apprentissage ou du réglage sur l'amélioration de la compréhension dans le bruit, en pratiquant la méthode du test-retest auprès de deux groupes de patients.

Table des illustrations

Figure 1 : Champ ou dynamique auditif humain, compris entre le seuil de perception et le seuil de douleur (ici la limite supérieure de perception). [13].....	7
Figure 2 : Représentation du champ dynamique d'un normo entendant à droite, compris entre le seuil tonal liminaire et le seuil d'inconfort. [14].....	8
Figure 3 : Exemple de transfert de signaux dans la dynamique résiduelle du champ auditif. En haut à des niveaux équivalents et en bas à des niveaux inférieurs. [15]....	8
Figure 4 : Représentation géométrique des trajectoires d'un front d'onde pour atteindre l'oreille gauche et l'oreille droite. [21].....	10
Figure 5 : Illustration schématique de l'effet de l'ombre de la tête en fonction de la fréquence. Pour les fréquences graves en (a) et aiguë en (b). [24].....	11
Figure 6 : Illustration du démasquage binaurale montrant que pour une audition monaurale, le bruit et la parole sont mélangés alors qu'ils sont deux signaux distincts lors d'une écoute binaurale. [28].....	13
Figure 7 : Courbes isosonique de FLETCHER et MUNSON. Le 0 correspond au seuil d'audition. [33].....	15
Figure 8 : Courbes d'isotonie de bruits à bande étroite, de fréquence centrale 1kHz en fonction de la largeur de bande. [31].....	15
Figure 9 : Exemple d'échelle de sonie utilisée pour le réglage d'implants cochléaires. [34]	16
Figure 10 : Graphique représentant l'âge des différents sujets de l'étude.....	19
Figure 11 : Audiogramme de la perte tonale moyenne au casque des sujets de l'étude.....	20

Figure 12 : Graphique représentant la répartition des modèles d'appareils auditifs de nos patients.....	20
Figure 13 : Graphique représentant les trois tests. L'oreille noire représente l'oreille déficiente. Le signal rouge représente la parole et le signal gris représente le signal de cocktail party. [36].....	23
Figure 14 : Graphique représentant la répartition des RSB (+3dB en rouge et +6dB en bleu).....	25
Figure 15 : Tableau montrant la moyenne, l'écart-type ainsi que la significativité des tests statistiques entre le jour 0 et le jour 15. Le p-value indique le résultat des tests de Student ou de Wilcoxon avec un risque de 5%. * indique que la différence est significative au risque de 5%.....	30
Figure 16 : Audiogramme du seuil prothétique tonal liminaire entre le jour 0 et le jour 15. En vert les seuils de la meilleure oreille et en orange les seuils de l'oreille la plus dégradée.....	31
Figure 17 : Histogramme représentant la moyenne et l'erreur standard des réponses obtenues au questionnaire 15iSSQ et à ses sous-parties en bleu au jour 0 et en orange au jour 15.....	32
Figure 18 : Tableau montrant la moyenne, l'écart-type ainsi que la significativité des tests statistiques pour les Δ du 15iSSQ entre le jour 0 et le jour 15. Le p-value indique le résultat des tests de Student ou de Wilcoxon avec un risque de 5%.....	32
Figure 19 : Tableau montrant la moyenne, l'écart-type ainsi que la significativité des tests statistiques entre le jour 15 et le jour 30. Le p-value indique le résultat des tests de Student ou de Wilcoxon avec un risque de 5%. * indique que la différence est significative au risque de 5%.....	34

Figure 20 : Audiogramme du seuil prothétique tonal liminaire entre le jour 15 et le jour 30. En vert les seuils de la meilleure oreille et en orange les seuils de l'oreille la plus dégradée.....34

Figure 21 : Histogramme représentant la moyenne et l'erreur standard des réponses obtenues au questionnaire 15iSSQ et à ses sous-parties en bleu au jour 15 et en orange au jour 30.....35

Figure 22 : Tableau montrant la moyenne, l'écart-type ainsi que la significativité des tests statistiques pour les Δ du 15iSSQ entre le jour 15 et le jour 30. Le p-value indique le résultat des tests de Student ou de Wilcoxon avec un risque de 5%. * indique que la différence est significative au risque de 5%.....35

Figure 23 : Tableau montrant la moyenne, l'écart-type ainsi que la significativité des tests statistiques entre le jour 0 et le jour 30. Le p-value indique le résultat des tests de Student ou de Wilcoxon avec un risque de 5%. * indique que la différence est significative au risque de 5%.....37

Figure 24 : Histogramme relatant l'évolution de la moyenne des réponses obtenues aux tests diotique, D et DI entre le premier RDV et le dernier. L'erreur standard est représentée.....37

Figure 25 : Audiogramme du seuil prothétique tonal liminaire entre le jour 0 et le jour 30. En vert les seuils de la meilleure oreille et en orange les seuils de l'oreille la plus dégradée.....38

Figure 26 : Histogramme représentant la moyenne et l'erreur standard des réponses obtenues au questionnaire 15iSSQ et à ses sous-parties. En bleu est représenté le jour 0, en orange le jour 15 et en gris le jour 30.....39

Figure 27 : Tableau montrant la moyenne, l'écart-type ainsi que la significativité des tests statistiques pour les Δ du 15iSSQ entre le jour 0 et le jour 30. Le p-value indique le résultat des tests de Student ou de Wilcoxon avec un risque de 5%.....39

Bibliographie

1. CNA, DEHAUSSY J., VESSON J.F. Le contrôle immédiat d'efficacité prothétique - B : Mesures subjectives : Stéréaudiométrie dans L'appareillage de l'adulte : le contrôle d'efficacité prothétique. Tome 3. Précis d'audioprothèse. 2007. Les éditions du collège national d'audioprothèse, p.127-140
2. 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.
3. KELOGHLANIAN Adrien, Corrélation entre le stéréo-équilibre et les questionnaires SSQ et SHA. Mémoire d'audioprothèse. Université Claude Bernard Lyon 1, 2020.
4. VIDAL Emma, Effet du stéréo-équilibrage en supraliminaire sur la compréhension de la parole dans le bruit et la spatialisation pour une surdité asymétrique. Mémoire d'audioprothèse. Université Claude Bernard Lyon 1, 2022.
5. MALCOIFFE Lisa, Évaluation d'un test de stéréo-équilibrage sur les pertes asymétriques. Mémoire d'audioprothèse. Université Claude Bernard Lyon 1, 2023.
6. SHAPIRO I. Hearing aid fitting by prescription. Audiology. 1976 ;15(2):163-73.
7. MARTIN FN. Introduction to audiology. Prentice Hall ; 1994.
8. PUNCH, J., JOSEPH, A., & RAKERD, B. Most Comfortable and Uncomfortable Loudness Levels. American Journal of Audiology. Volume 13 Issue 2. Décembre 2004. P.144-157.
9. WATSON N. A., KNUDSEN V. O. Selective Amplification in Hearing Aids. J. Acoust. Soc. Am. 1. Avril 1940 ; 11 (4) : 406–419.
10. LE HER F. Questions sur le C.T.M. [Questions on the C.T.M.] ; Interview de François Le Her par François Degove [Interview of François Le Her by François Degove]. Cahier de l'audition. Nov./Déc. 2008 Vol. 21, n°6, p.39-53
11. HOOD J. D., POOLE J. P. Tolerable Limit of Loudness : Its Clinical and Physiological Significance. J. Acoust. Soc. Am. 1 July 1966 ; 40 (1) : 47–53.
12. DODELE L. La mesure du seuil d'inconfort. Phonak Focus. Bruxelles. 1992. 8 p.
13. PUJOL R. Voyage au centre de l'audition, Champs auditif humain, 2018. Disponible sur : <https://www.cochlea.org/entendre/champ-auditif-humain> (consulté en juillet 2024)
14. BAILLY MASSON E. (Version décembre 2019) La compression. Gestion des gains et niveaux de sortie. Cours de 2ème année, Faculté de Médecine de Lyon 1.

15. RENARD C., Atelier : Protecteurs individuels : Utilisation pratique et confort. Contraintes d'adaptation des équipements de protection individuelle contre le bruit. Acoustique & Techniques. Spécial " Noise at work 2007 ". N°49. p.37-45
16. Entendre avec les deux oreilles. Cochlear. Disponible sur : <https://www.cochlear.com/ca/fr/home/diagnosis-and-treatment/how-cochlear-solutions-work/hearing-with-both-ears> (consulté en décembre 2023)
17. David R. Moore. Anatomy and Physiology of Binaural Hearing. International Journal of Audiology. 1991, Volume 30, 1991 - Issue 3 p.125-134
18. BERGMAN M. Binaural Hearing. AMA Arch Otolaryngol. 1957 ;66(5) :572–578.
19. CNA, DEHAUSSY J., VESSON J.F. Le contrôle immédiat d'efficacité prothétique - B : Mesures subjectives : Stéréaudiométrie dans L'appareillage de l'adulte : le contrôle d'efficacité prothétique. Tome 3. Précis d'audioprothèse. 2007. Les éditions du collège national d'audioprothèse, p.120-124
20. LORENZI A., GENTIL A., Voyage au centre de l'audition, Localisation, 2019. Disponible sur : <https://www.cochlea.eu/son/psychoacoustique/localisation> (consulté en décembre 2023)
21. RISOUD M., HANSON J.-N., GAUVRIT F., RENARD C., LEMESRE P.-E., BONNE N.-X., VINCENT C., Localisation sonore spatiale, Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale, Volume 135, Issue 4, 2018, p.251-257,
22. AVAN P., GIRAUDET F., BÜKI B., Importance of Binaural Hearing. Audiol Neurotol 1 May 2015 ; 20 (Suppl. 1) : 3–6.
23. AVAN P. Congrès GEORRIC. Mécanismes neurophysiologiques de la binauralité. Connaissances surdités, Mars 2006, n°15, p.32-34
24. SHANNAN B., Audiology - A Curriculum for Excellence. Scottish Sensory Centre. Novembre 2010. Disponible sur : <https://www.ssc.education.ed.ac.uk/courses/deaf/dnov10i.html> (consulté en décembre 2023)
25. CHAYS A., Chapitre Localisation et Audition Binaurale ; Effets des dommages cochléaires sur la localisation des sons et l'audition binaurale dans Naissance, vie et mort de l'oreille. Les monographies Amplifon n°45, 2008. p.43-44 ;102-104
26. Jill B. Firszt, PhD ; Ruth M. Reeder, MA ; Margaret W. Skinner, PhD, Restoring hearing symmetry with two cochlear implants or one cochlear implant and a contralateral hearing aid. Journal of Rehabilitation Research & Development. 2008 Volume 45, Number 5, P.749–768
27. LEVITT H., RABINER L.R., Binaural release from masking for speech and gain in intelligibility. J Acoust Soc Am. septembre 1967 ;42(3) :601-8.
28. Staab W., Binaural Loudness Squelch. Mars 2015. Disponible sur : <https://hearinghealthmatters.org/waynesworld/2023/binaural-loudness-squelch/> (consulté en décembre 2023)
29. BERAHAJ.P., BOUAZIZ P., CASENAVE A., COHEN H., DEYS S., LACOMBE B., MATEU P., TROGNEUX J.P., La prothèse auditive in Surdité prothèse-implants. Les monographie d'Amplifon n°33. 2002. p.28-31
30. BOULLET I., La sonie des sons impulsionnels : perception et mesures. Les cahiers de l'audition. Mai/Juin 2008, Vol. 21, n°3. p.6-38
31. PRADEL Sébastien, L'équilibrage isosonique. Mémoire d'audioprothèse. Université Claude Bernard Lyon 1, 2005.

32. BOUVIER P., BERTRAND G., La présence en réalité virtuelle, une approche centrée utilisateur. 235p. Informatique. Université Paris-Est, décembre 2009
33. FLETCHER H., MUNSON W.A., Loudness, its definition, measurement and calculation. The Journal of the Acoustical Society of America, 5(2) :82–108, 1933.
34. Ferramentas para a escola, Loudness Scale Volumn, Advanced Bionics
Disponibile sur :
<https://www.advancedbionics.com/content/dam/advancedbionics/Documents/Regional/BR/Loudness-Scale-Volumn.pdf> (consulté en juillet 2024)
35. WOLFE J., SCHAFER E. Programming Cochlear Implants, Second Edition. Plural publishing, p.173-180
36. TEIXEIRA MENNITI PENNINI P., DE ALMEIDA K., Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale in assessing the benefit in hearing aid users. Brésil. Mai 2021. 10p.
37. FERSCHNEIDER M., GALLEGGO 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, 2022. ffhal-03539716
38. SELDRAN F., GALLÉGO S. Stéréo-équilibre : méthode et intérêt. Cahier de l'audition. Mai. / Juin. 2024 Vol. 37, n°3, p.21-26
39. VANNSON N., DEGUINE O., Evaluation du handicap perceptif après surdité unilatérale. Approches psychoacoustique et imagerie cérébrale. 246p. Neurosciences, comportement et cognition. Université Toulouse 3 Paul Sabatier, Juin 2016.
40. SERGHINI ROUSSEAU K., Stat Inférentielle Biostatistique. Test de Wilcoxon. Disponible sur : <https://statinferentielle.fr/test-de-wilcoxon/> (consulté en janvier 2024)
41. SERGHINI ROUSSEAU K., Stat Inférentielle Biostatistique. Comment réaliser le Test T de Student sur Excel ? Disponible sur : <https://statinferentielle.fr/test-student-excel/> (consulté en janvier 2024)

Annexes

Annexe 1 : 15iSSQ

Speech, Spatial and Qualities of hearing scale de Gatehouse & Noble. Version française abrégée F_15iSSQ.



Questionnaire d'habiletés auditives (15iSSQ)

Conseils pour répondre aux questions

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

Pour chacune des questions, vous devez mettre la réponse sur l'échelle située à droite, à l'aide d'une croix, à l'endroit choisi entre 0 et 10. Une croix sur la valeur 10 signifie que vous êtes parfaitement capable de faire ce qui est décrit dans la question correspondante. Une croix sur la valeur 0 indique que vous ne pouvez pas faire ce qui est décrit.

Exemple :

0. Vous pouvez suivre une conversation avec une personne en face de vous, dans le calme.	<p style="text-align: center;"><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p style="text-align: center;"> ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- </p> <p style="text-align: center;">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Non applicable</p>
--	---

La question 0 se rapporte à votre capacité de suivre une conversation. Si vous êtes tout à fait capable de le faire, placez une croix sur l'extrémité droite de l'échelle, sur le nombre 10. Si vous êtes capable de suivre environ la moitié de la conversation dans une telle situation, placez la marque vers le milieu de l'échelle (le 5) et ainsi de suite. Si vous n'arrivez pas du tout à suivre une conversation, placez la croix sur le 0, à gauche de l'échelle.

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

Date: _____ ID



Moulin et coll, 2019, PAM, CRNL 1/4

Speech, Spatial and Qualities of hearing scale de Gatehouse & Noble. Version française abrégée F_15iSSQ.

1ère partie : Audition de la parole

1. Vous discutez avec une autre personne dans une pièce dans laquelle un téléviseur est allumé. Pouvez-vous suivre les propos de votre interlocuteur sans baisser le son du téléviseur ?	<p style="text-align: center;"><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p style="text-align: center;"> ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- </p> <p style="text-align: center;">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Non applicable</p>
2. Vous êtes assis autour d'une table avec un groupe de cinq personnes environ, dans un restaurant animé. Vous pouvez voir toutes les personnes du groupe. Pouvez-vous suivre la conversation ?	<p style="text-align: center;"><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p style="text-align: center;"> ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- </p> <p style="text-align: center;">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Non applicable</p>
3. Vous discutez avec une autre personne. Il y a un bruit de fond continu (ventilateur ou eau qui coule par exemple). Pouvez-vous suivre ce que dit l'autre personne ?	<p style="text-align: center;"><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p style="text-align: center;"> ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- </p> <p style="text-align: center;">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Non applicable</p>
4. Vous êtes assis autour d'une table avec un groupe de cinq personnes environ, dans un restaurant animé. Vous NE pouvez PAS voir toutes les personnes du groupe. Pouvez-vous suivre la conversation ?	<p style="text-align: center;"><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p style="text-align: center;"> ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- </p> <p style="text-align: center;">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Non applicable</p>
5. Vous discutez avec quelqu'un dans une pièce dans laquelle beaucoup d'autres personnes parlent. Pouvez-vous suivre ce que vous dit votre interlocuteur ?	<p style="text-align: center;"><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p style="text-align: center;"> ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- </p> <p style="text-align: center;">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Non applicable</p>



Moulin et coll, 2019, PAM, CRNL 2

2ème partie : Audition spatiale

6. Vous êtes assis autour d'une table ou participez à une réunion avec plusieurs personnes. Vous ne pouvez pas voir toutes les personnes. Pouvez-vous dire où est chaque personne dès qu'elle prend la parole ?	<p><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p> ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ </p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right;"><i>Non applicable</i></p>
7. Vous êtes à l'extérieur. Un chien aboie bruyamment. Pouvez-vous indiquer immédiatement où il se trouve, sans regarder ?	<p><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p> ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ </p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right;"><i>Non applicable</i></p>
8. Vous êtes sur le trottoir d'une rue animée. Pouvez-vous entendre immédiatement de quelle direction un bus ou un camion arrive avant de l'avoir vu ?	<p><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p> ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ </p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right;"><i>Non applicable</i></p>
9. Pouvez-vous indiquer dans quelle direction une personne se déplace, uniquement au son de sa voix ou de ses pas, par exemple de votre gauche à votre droite ou inversement ?	<p><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p> ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ </p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right;"><i>Non applicable</i></p>
10. Pouvez-vous évaluer correctement l'endroit d'où les sons proviennent ?	<p><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p> ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ </p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right;"><i>Non applicable</i></p>



Moulin et coll, 2019, PAM, CRNL 3/4

3ème partie : Qualité d'audition

11. Pouvez-vous reconnaître facilement les différentes personnes que vous connaissez, au son de leur voix ?	<p><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p> ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ </p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right;"><i>Non applicable</i></p>
12. Pouvez-vous reconnaître facilement les différents morceaux de musique que vous connaissez ?	<p><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p> ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ </p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right;"><i>Non applicable</i></p>
13. Pouvez-vous différencier certains bruits, par exemple une voiture par rapport à un bus ou de l'eau qui bout par rapport à la nourriture qui frit dans une poêle ?	<p><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p> ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ </p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right;"><i>Non applicable</i></p>
14. Lorsque vous écoutez de la musique, est-ce qu'elle vous semble claire et naturelle ?	<p><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p> ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ </p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right;"><i>Non applicable</i></p>
15. Les bruits quotidiens que vous entendez facilement, vous semblent-ils clairs et distincts (non brouillés, non mélangés) ?	<p><i>Non, pas du tout</i> <i>Oui, parfaitement</i></p> <p> ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++ </p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: right;"><i>Non applicable</i></p>



Merci pour votre participation !

Moulin et coll, 2019, PAM, CRNL 4/4

Annexe 2 : Listes cochléaires de Lafon

1		5 25 35		2		6 26 36		3		7 27 37		4		8 28 38		5		9 29 39	
buée				bile				rôle				abbé				balle			
ride				dors				fente				sud				soude			
foc				sage				tige				fausse				mur			
agis				gaine				grain				joute				nef			
vague				fil				cave				dogue				change			
croc				cru				bulle				acquis				gage			
lobe				boule				somme				ville				trou			
mieux				cale				maine				mare				mal			
natte				bonne				preux				noce				tonne			
col				rive				bord				appas				peur			
fort				sol				rouille				route				rampe			
soupe				tempe				oser				cil				puce			
tonte				fauve				sile				fête				cor			
vèle				phase				bouée				veule				vite			
nage				mule				sauvé				chaise				rance			
souche				chatte				chance				bâche				mouche			
rogne				règne				gagne				souille				file			
/ 50				/ 50				/ 50				/ 50				/ 50			

		Voix				Voix				Voix				Voix				Voix	
		M				M				M				M				M	
		F				F				F				F				F	
		E				E				E				E				E	
CD 1		piète																	
6		10 30 40		7		11 31 41		8		12 32 42		9		13 33 43		10		14 34 44	
bille				brin				bol				bois				tube			
doute				faïlle				rade				dard				dalle			
faine				sauge				touffe				faute				four			
longe				langue				gêne				amas				jante			
gave				sotte				raïde				gîte				gaz			
seul				molle				étang				ganse				caisse			
ami				drap				roule				cahot				folle			
tasse				mille				mise				père				mainte			
chêne				naine				année				mine				saine			
pré				pire				pile				tronc				pris			
sur				tank				sort				panse				soute			
crin				pur				masse				tord				rite			
vol				suer				fève				élan				bave			
front				rève				pince				voix				bouse			
ruse				vase				bac				pèse				nappe			
louche				mèche				manche				bûche				riche			
bagne				teigne				saigne				paille				peigne			
/ 50				/ 50				/ 50				/ 50				/ 50			

11	15	12	16	13	17	14	18	15	19
bru		bec		bouche		beurre		béat	
lande		dru		rôde		rude		date	
face		franc		feinte		fane		frein	
neige		bouge		jute		lange		range	
dague		gomme		ligne		figue		gale	
sec		rut		cure		latte		souk	
tôle		pale		moule		mousse		lègue	
meule		thème		sème		pic		mate	
fine		orne		anis		laine		naisse	
prend		épais		pour		patte		port	
serre		tard		gris		ronge		sauf	
peinte		soie		somme		selle		taille	
voûte		teinte		rase		menthe		avis	
tri		vif		sente		vieux		muse	
thèse		sauve		poche		bis		biche	
arche		fiche		sève		chape		meurt	
pigne		pagne		agneau		caille		digne	
	/ 50		/ 50		/ 50		/ 50		/ 50

	Voix M								
CD 1	paste								
16	20	17	21	18	22	19	23	20	24
ronde		buse		bock		brun		botte	
fade		code		dîne		vide		danse	
beige		foule		frais		fort		effet	
grue		fange		mage		cage		gel	
couche		gaule		gland		rogne		gaffe	
lasse		cran		soc		coule		suc	
pâme		allait		loi		mêle		pelle	
anneau		monte		mien		rime		amont	
épée		nasse		coupe		néant		panne	
race		près		bras		pouce		brun	
soute		sac		assaut		trou		sœur	
motte		lord		nier		pince		tir	
vide		rave		rente		dote		vanne	
case		bise		vote		bave		chose	
niche		sèche		seize		fez		ponte	
bien		brou		roche		chasse		signe	
ligne		vigne		maille		hargne		chaume	
	/ 50		/ 50		/ 50		/ 50		/ 50