



<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

Effets de latéralité de la (sub)cophose sur les capacités de localisation spatiale horizontale

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

DIPLOME D'ETAT D'AUDIOPROTHESISTE

par

Marie-Charlotte ROCHETTE

Autorisation de reproduction

LYON, le 18 octobre 2024

David COLIN

N° (1025)

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 souhaite remercier dans un premier temps, mon maître de mémoire, Monsieur POTIER Morgan pour sa présence, ses précieux conseils et son excellence. Il m'a accordé toute sa confiance en me permettant de tester sa patientèle vis-à-vis de laquelle je suis reconnaissante pour avoir accepté de participer à ma recherche. J'en profite pour remercier toute l'équipe du Laboratoire d'Audiologie Clinique pour leur accueil chaleureux ainsi que leur soutien quant à la réalisation de cet écrit.

A présent, j'adresse mes remerciements les plus sincères à Monsieur JEANVOINE Arnaud, pour avoir mis en place le logiciel QualiLoc mais aussi pour son aide particulière quant à l'analyse statistique des données ainsi que les représentations graphiques.

Aussi, je remercie Monsieur SELDRAN Fabien pour sa disponibilité, ainsi que sa réactivité lors de demandes particulières. Plus généralement, je remercie toute l'équipe professorale pour la qualité d'enseignement proposé, Madame VILLALON Véronique pour l'organisation des démarches administratives et Madame PHILIBERT Bénédicte pour sa finesse de lecture et son soutien à la finalisation de ce mémoire.

J'adresse mes remerciements à mes frères, tous deux opticiens, pour m'avoir conseillé la formation d'audioprothésiste. Merci à ma mère pour son soutien moral sans faille, et à mon père pour ses multiples relectures. Merci à mon compagnon, Jérémy pour sa tolérance et son aide à l'amélioration de certains graphiques.

Un grand merci à tous ceux que j'aurais pu oublier et qui ont contribué de près ou de loin à cette réalisation à travers laquelle je rends également hommage aux proches défunts.

Engagement sur l'honneur de non-plagiat

Je soussignée Marie-Charlotte ROCHETTE, (N° étudiant : 2108105),

Etudiante en troisième année d'audioprothésiste et inscrite à l'examen menant à l'obtention du Diplôme d'Etat, certifie que le texte présenté représente le fruit d'un long travail personnel et que toutes les sources utilisées pour sa réalisation ont été explicitement référencées.

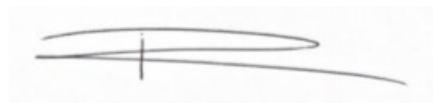
Le non-respect de ces dispositions conduirait à la nullité de l'examen, et serait passible de sanctions pénales.

J'atteste donc sur l'honneur n'avoir ni copié, ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'ouvrages, d'articles ou de mémoires sans mentionner leur origine (Articles L335-2 et L335-3).

Fait à NARBONNE,

Le 29 septembre 2023,

Signature



Marie-Charlotte ROCHETTE

Index abbréviation

- BIAP : Bureau International d'AudioPhonologie
- dB : Décibel
- HL : Hearing Loss
- ITD : Interaural Time Difference
- ILD : Interaural Level Difference
- HRTF : Head-Related Transfer-Function
- Hz : Hertz
- IPD : Interaural Phase Difference
- REUG : Real Ear Unaided Gain
- BAHA : Bone Anchored Hearing Aid
- RIC : Receiver In Canal
- CROS : Controlateral Routing Of Signal
- THI : Tinnitus Handicap Inventory
- AVB : Audiométrie Vocale dans le Bruit
- OVG : Onde Vocale Globale
- CoDEX : Cognitive Disorders Examination
- SSQ-15 : Speech Spatial and Qualities of Hearing Scale
- PTA : Pure Tone Average
- SPL : Sound Pressure Level
- RSB : Rapport Signal / Bruit
- RMSE : Root Mean Square Error
- STD : Standard Deviation
- SLHI : Sound Localization Handicap Index

Table des matières

Remerciements	4
Engagement sur l'honneur de non-plagiat.....	5
Index abréviation	6
I-Introduction.....	9
II- Partie théorique	10
1- Latéralité auditive	10
2- La localisation spatiale chez l'Homme	12
a) Différence interaurale de temps.....	13
b) Différence interaurale d'intensité.....	15
c) Le cône de confusion	17
d) Fonction de transfert relative à la tête	18
e) Les fonctions binaurales	18
3- Cophose et (sub)cophose.....	19
a) Définition.....	19
b) Etiologie.....	21
c) Conséquences.....	22
d) Appareillages envisageables pour une surdité asymétrique.....	22
III- Partie expérimentale.....	25
1- Matériels et méthodes	25
a) Matériels.....	25
b) Critères d'inclusion	27
c) Critères d'exclusion	28
d) Procédure des tests.....	28
e) Analyse Statistique	36
2- Résultats.....	38
a) Etalonnage du test de localisation chez le normo-entendant	38
b) Localisation chez le malentendant.....	41
c) Localisation avec perte auditive simulée chez les normo-entendants	47
d) Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ-15)	53
e) Audiométrie vocale dans le bruit	57
3- Discussion	62
a) Normo-entendants	63
b) (Sub)cophotiques.....	63
c) Effet du côté groupe (sub)cophotiques.....	66
d) Efficacité de l'appareillage CROS	66

e)	Simulation de perte auditive chez le normo-entendant.....	68
f)	Audiométrie vocale dans le bruit	69
g)	Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale	69
h)	Limites.....	70
i)	Perspectives	71
IV- Conclusion		71
V- Bibliographie		74
VI- Annexes		83
Annexe 1 : Test de latéralité d'Edinburgh		83
Annexe 2 : Lettre de consentement libre et éclairé patients		84
Annexe 3- Questionnaire SSQ-15.....		85
Annexe 4 : Test CoDEX (exercice).....		87
Annexe 5 : Listes dissyllabiques de Fournier		89
Annexe 6 : Listes dissyllabiques de Lafon.....		90
Annexe 7 : Listes de logatomes de Dodelé		91
Annexe 8 : Tableau récapitulatif des RMSE		92
Annexe 9 : Valeurs de p-value pour la comparaison des audiogrammes.....		93

I-Introduction

L'ouïe et la vue sont les deux sens qui rendent possible la localisation sonore chez l'Homme. La localisation spatiale représente entre autres la capacité du système auditif à déterminer la provenance d'un son. Cette aptitude s'avère fondamentale. Elle permet non seulement de se repérer mais aussi de renforcer notre sécurité.

Si l'on se réfère au monde animal, la localisation aide à situer à la fois ses congénères, ses proies mais aussi ses prédateurs. Un malentendant éprouve logiquement des difficultés de localisation sonore susceptibles de le mettre plus ou moins en danger. Durant mes différents stages, plusieurs patients ont évoqué ce type de situation. A titre d'exemple, une personne m'a rapporté avoir été dans l'incapacité de réagir en adaptant sa conduite car impossible pour elle de localiser la sirène d'une ambulance. Les difficultés de localisation s'avèrent être également pénalisantes au quotidien. Beaucoup évoquent leur incapacité à situer leur téléphone portable lorsque celui-ci sonne.

Ces différentes situations m'ont incitée à m'interroger sur les capacités à localiser, selon le côté de la (sub)cophose. Les recherches théoriques effectuées se sont révélées peu fructueuses et contradictoires. En effet, certaines études comme celles de Gustafson., et Hamill., en 1995 et Parisa et al., en 2018, tendent à montrer que la localisation spatiale est meilleure dans le cas d'une perte auditive à gauche. A l'inverse, l'expérimentation de Agterberg et al., en 2018 ainsi le cours de Monsieur GALLEGO et l'étude de Monsieur POTIER font apparaître une meilleure localisation avec une perte auditive droite.

Face à ces résultats discordants, il nous semble utile de rechercher en quoi le côté de la (sub)cophose influe sur les capacités de localisation spatiale ?

Afin d'approfondir le sujet, il convient de retenir l'hypothèse selon laquelle un patient (sub)cophotique droit parviendrait mieux à localiser qu'un patient atteint du côté gauche.

La partie théorique permettra de définir et rechercher d'éventuels liens entre les (sub)cophoses et les difficultés de localisation spatiale, après avoir évoqué le principe de latéralité auditive.

La partie expérimentale présentera à la fois le matériel et la méthode utilisés, et décrira les résultats obtenus aux différents tests, avant de les interpréter. Il s'agit d'une étude comparative entre deux populations, les (sub)cophotiques droits et gauches.

En fonction des résultats obtenus nous pourrons conclure et ouvrir sur des adaptations de prise en charge audioprothétique.

II- Partie théorique

1- Latéralité auditive

Les informations auditives sont analysées au niveau du cortex auditif, situé au niveau de la partie supérieure du lobe temporal (cf. Figure 1). Cette zone de traitement auditif ne représente qu'une petite partie de la surface totale du cortex cérébral (environ 8%). Le cortex auditif primaire traite l'information auditive à la fois par rapport à sa fréquence (tonotopie), son intensité, et sa durée. Complémentairement, l'aire auditive secondaire joue un rôle majeur pour la localisation spatiale du son mais aussi affine l'analyse de sons complexes.

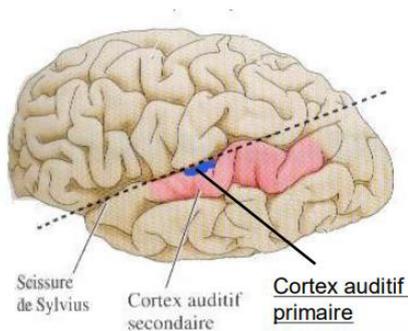


Figure 1- Vue latérale d'un cerveau humain avec cortex auditif primaire situé au niveau du Gyrus de Heschl dans le lobe temporal et cortex auditif secondaire à l'arrière, d'après le livre « Binaural Hearing » de Litovsky et al. paru en 2021.

Tervaniemi et Hugdahl en 2003 montrent une latéralité auditive. Selon eux, l'hémisphère gauche serait spécifique au déchiffrement de la parole et à la production de langage alors que l'hémisphère droit analyserait plutôt les aspects émotionnels et prosodiques de la linguistique. C'est aussi ce que l'on retrouve dans la publication de Albouy et al. en 2020. Aucune de ces études précédemment énoncées stipule la latéralité manuelle des sujets.

L'étude de Knecht et coll. en 2000 a montré une dominance de l'hémisphère droit à 27% pour le déchiffrement de la parole chez les sujets présentant une latéralité manuelle gauche alors qu'il ne s'élève qu'à 4% chez les droitiers. Sachant que l'hémisphère gauche code la parole, alors nous pouvons supposer que la latéralisation serait moins prononcée chez les sujets gauchers.

Concernant la dominance auditive, l'oreille droite apparaît comme étant meilleure pour la reconnaissance vocale. L'étude auprès de 10 jeunes enfants, proposée par Henkin et al. en 2014, confirme de meilleures performances de perception de la parole avec un implant cochléaire côté droit, d'où la préférence d'implantation de ce côté..

D'après l'étude de Tanaka et al. en 2021, il a aussi été montré une dominance de l'hémisphère gauche pour le traitement auditif de la parole. Un test dichotique a été réalisé permettant de présenter un stimulus différent dans chaque oreille. Les patients répètent avec plus de justesse ce qui est perçu dans l'oreille droite.

Une recherche plus poussée a été effectuée par Poeppel en 2003. Elle met en avant une différence de codage du signal en fonction de sa fréquence et de sa fenêtre temporelle. Un signal de basse fréquence (et de fenêtre d'intégration longue) est analysé au niveau de l'hémisphère droit. A l'inverse, un signal avec une fenêtre d'analyse courte, et donc de haute fréquence, sera traité par l'hémisphère gauche. Cela vient compléter les études préalables menées par Ivry et Robertson en 1998 qui ont pointé le fait que l'hémisphère droit agit comme un filtre passe-bas alors que l'hémisphère gauche intervient comme un filtre passe-haut.

Aussi, l'étude de 2009 proposée par Khalfa et al. met en avant une asymétrie interaurale quant aux otoémissions acoustiques évoquées en particulier sur la fréquence 2.4 kHz. Le principe de ces otoémissions acoustiques consiste à évaluer la motricité des cellules ciliées externes en réponse à une stimulation sonore. Nous pouvons donc supposer une éventuelle différence anatomique et/ou fonctionnelle au niveau des cellules ciliées externes de chaque côté.

2- La localisation spatiale chez l'Homme

La localisation spatiale permet de définir la position d'une source sonore dans les trois plans de l'espace avec 'x' le positionnement azimuthal horizontal allant de 0° à +/-180°, 'y' la distance en mètres, ainsi que 'z', l'élévation variant de 0° à +/- 90° (cf. Figure 2).

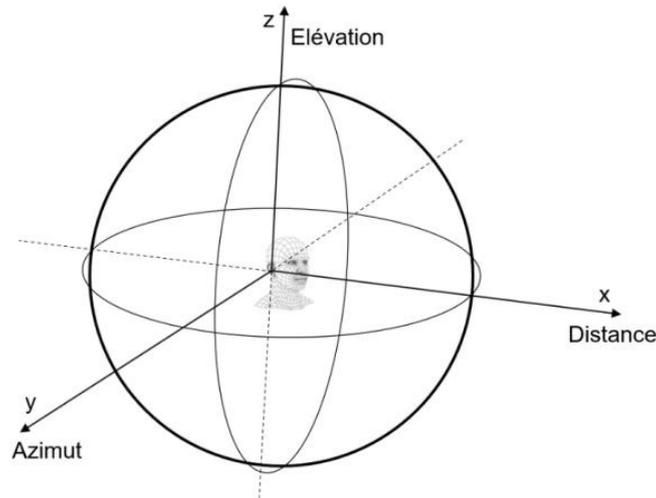


Figure 2- Localisation sonore spatiale dans les trois plans de l'espace avec 'x' la distance, 'y' l'azimut et 'z' la hauteur - thèse de Morgan POTIER

En 1907, c'est Lord Rayleigh qui décrit la « théorie Duplex ». Elle stipule que la localisation sonore est permise par les différences interaurales. En effet, lors de son parcours, le son va avoir ses caractéristiques physiques mais également acoustiques qui vont être modifiées. Les oreilles ayant un positionnement différent dans l'espace ne vont donc pas recevoir exactement le même signal. C'est ce processus qui va permettre au sujet d'en déduire une localisation plus ou moins précise de la source sonore. L'oreille humaine utilise donc trois indices acoustiques différents pour localiser une source sonore dans le plan horizontal, deux indices sont binauraux et le dernier est monaural. Effectivement, comme l'ont décrit Grothe et al. en 2010 et Blauert en 1997, nous utilisons les différences interaurales de temps (ITD) et d'intensité (ILD), mais aussi les HRTF (Head-Related Transfer Function) d'après Risoud. et. al en 2018.

a) Différence interaurale de temps

Dans le plan horizontal (azimut), les différences interaurales de temps (ITD : Interaural Time Difference) sont exploitées. Lorsque la source sonore n'est pas à équidistance des deux oreilles, le son va être perçu dans un premier temps du côté de l'oreille la

plus proche et la différence de temps interaurale résultante sera positive (ITD>0) (cf. Figure 3). Toutefois, si la source est strictement située à l'avant (0°), ou à l'arrière (180°) alors l'ITD sera considérée comme nulle (ITD=0). Le son doit dans cette situation être perçu en même temps par l'oreille droite et l'oreille gauche.

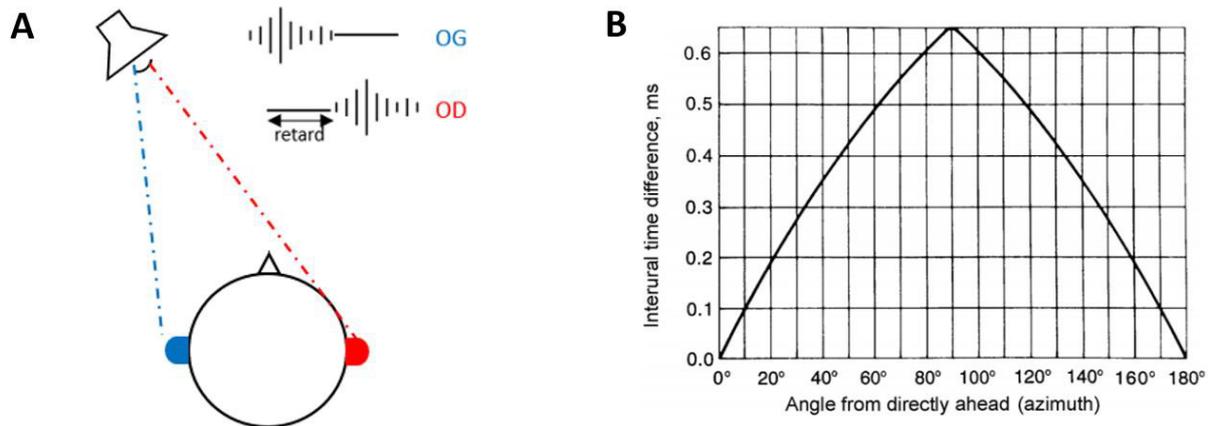


Figure 3-A Différence de longueur parcourue par le son pour atteindre chacune des oreilles, par Marie-Charlotte Rochette

Figure 3-B Différence de temps interaurale en fonction de l'angle d'incidence avec un ITD nul pour 0° et 180° et l'ITD maximale admise pour un angle de 90°, d'après Fedderson 1957

Etant donné que le son se propage à une vitesse de 340 m/s, lorsqu'il parcourt 1 cm, il met $2.94 \cdot 10^{-5}$ s soit 29.4 μ s (cf. Tableau 1). Comme la distance entre les deux oreilles est d'environ 20 cm, nous estimons que le son va pouvoir mettre jusqu'à 588 μ s pour atteindre la deuxième oreille. Pour avoir une si grande différence interaurale de temps c'est que le signal sonore était positionné à +/-90°.

	Célérité	Pour 1 cm	Diamètre tête (20cm)
Distance en mètre (m)	340	0.01	0.20
Temps en microseconde (μ s)	1.10^6	29.4	588

Tableau 1 : Temps de parcours de l'onde sonore

b) Différence interaurale d'intensité

Pour localiser le signal dans le plan horizontal, l'auditeur utilise aussi la différence d'intensité interaurale (ILD : Interaural Level Difference). La tête représente un obstacle à la propagation du son. Par conséquent, cela induit une diminution significative de l'intensité du côté opposé à la provenance du signal. Cette atténuation est dite fréquence-dépendante puisqu'en effet la baisse est moins importante dans le cas des fréquences graves contrairement aux fréquences aiguës qui elles subissent une chute conséquente de l'intensité au niveau de l'oreille controlatérale.

A savoir, les longueurs d'ondes acoustiques audibles par l'oreille humaine sont comprises entre 20 mètres et 2 centimètres. Les ondes correspondant aux fréquences graves (cf. Figure 4B) auront la possibilité de contourner l'obstacle (tête et/ou buste) par diffraction, puisque la longueur d'onde est plus importante que la taille de l'obstacle. La différence de pression acoustique entre les deux oreilles est en revanche importante lorsque la fréquence s'élève à 3 ou 4 kHz environ. C'est donc pour les fréquences aiguës que la réflexion et l'absorption se font, sachant que l'obstacle est plus grand que la longueur d'onde (cf. Figure 4A).

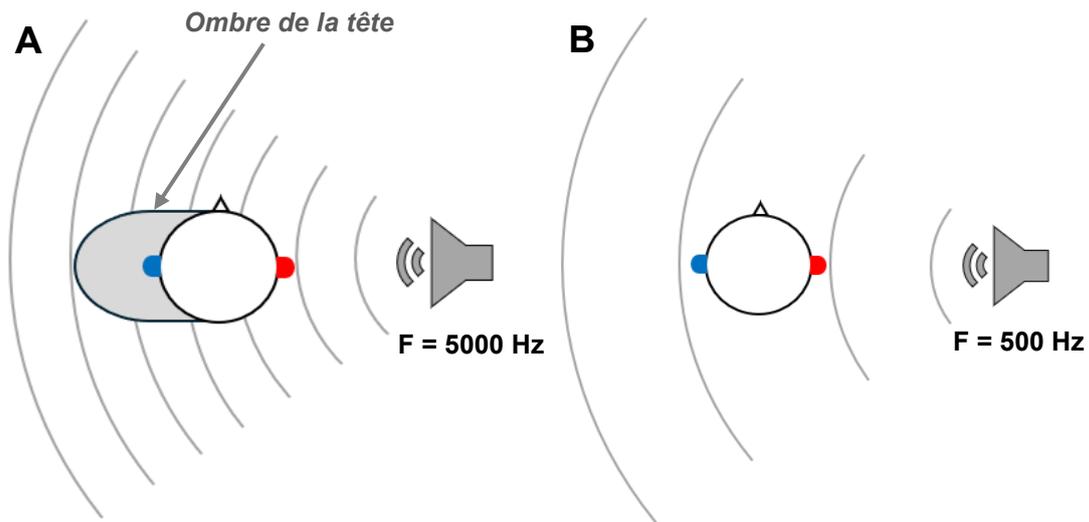


Figure 4- Effet de la longueur d'onde sur le masque de tête avec fréquence aigue (A) et sans atténuation pour fréquence grave (B), par Marie-Charlotte Rochette

Nous en déduisons que plus le son est aigu, plus la longueur d'onde est petite, donc la différence d'intensité perçue entre les deux oreilles est majorée (cf. Figure 5). Si l'on considère que le diamètre de la tête est de 20 cm et que la célérité de l'onde est de 340 m/s alors on peut dire que la réflexion aura lieu à partir de la fréquence 1.7 kHz environ.

On le détermine par le calcul suivant :

$$\text{Longueur d'onde} = \text{célérité} / \text{fréquence.}$$

Ce phénomène est nommé effet d'ombre de la tête.

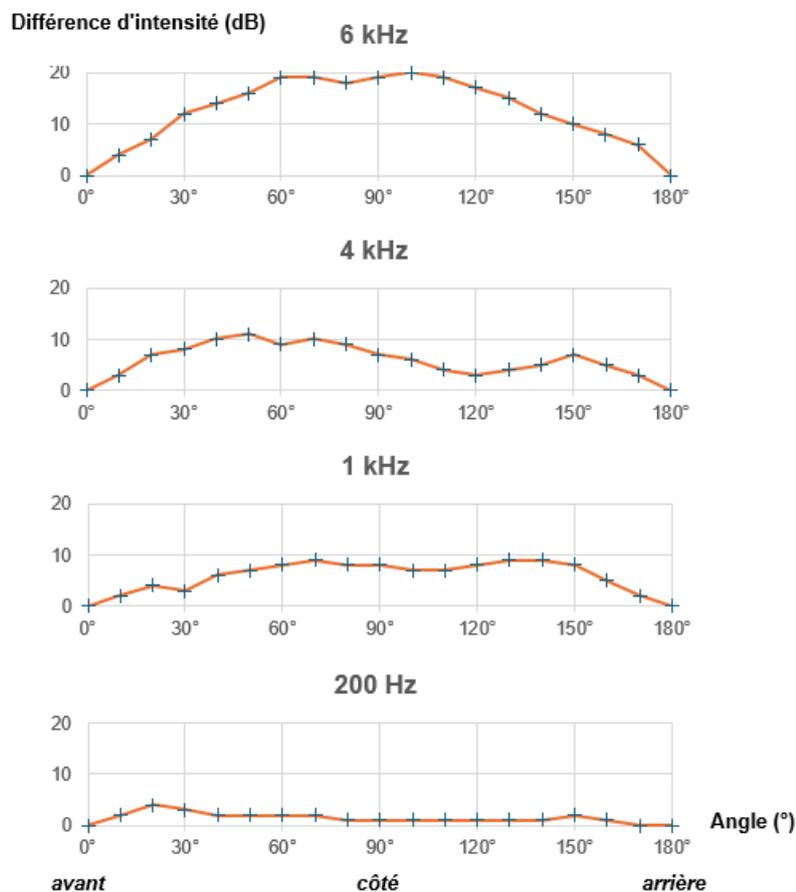


Figure 5- Evolution de la différence d'intensité en fonction de la position de la source sonore pour 4 fréquences : 200 Hz, 1 kHz, 4 kHz, 6 kHz, par Marie-Charlotte Rochette d'après Fedderson et al.

c) Le cône de confusion

Les indices binauraux précédemment décrits (ITD et ILD) permettent de se faire une idée du positionnement de la source sonore. Toutefois, il faut dans la plupart des cas mouvoir sa tête vers l'objectif afin de s'assurer du positionnement de la source sonore.

Effectivement, les ITD et ILD peuvent être les mêmes par symétrie hermitienne autour du $\pm 90^\circ$: c'est ce qu'on appelle le cône de confusion (cf. Figure 6). Par conséquent,

le sujet peut s'interroger quant au positionnement avant-arrière ou haut-bas. Il fait alors appel à ce qu'on nomme cette fois ci les indices monauraux.

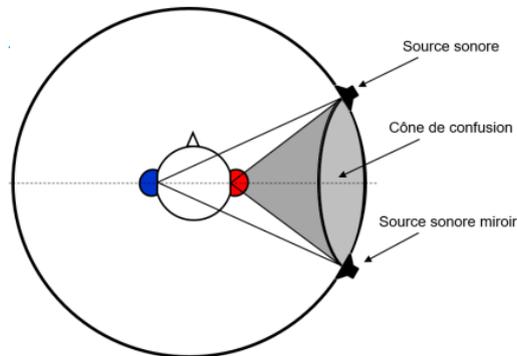


Figure 6- Cône de confusion, Thèse de Morgan POTIER

d) Fonction de transfert relative à la tête

La tête, le torse, les conduits auditifs externes mais aussi les pavillons vont modifier le signal acoustique. Ce sont des indices que l'on décrit comme étant monauraux et ils sont propres à chacun. L'individu est capable de mémoriser une HRTF différente pour chacun des côtés. D'après Asano et al. en 1990, le pavillon impacte majoritairement les fréquences aigues supérieures à 4 kHz alors que le torse lui, modifie plutôt les signaux de fréquences 2-3 kHz.

Tous les indices précédemment décrits permettent au sujet normo-entendant de bénéficier des avantages binauraux pour localiser la source sonore. Toutefois, ce n'est pas le cas pour un sujet malentendant présentant une perte unilatérale sachant que les différences intéraurales sont perturbées.

e) Les fonctions binaurales

Les indices binauraux précédemment décrits permettent deux fonctions primordiales au confort de vie d'un normo-entendant. La première fonction binaurale est le

démasquage de la parole en environnement bruyant. Effectivement, d'après la thèse soutenue par Antoine Lorenzi en 2016, l'individu serait capable de dissocier le signal de parole utile du bruit masquant grâce à l'analyse des indices temporels et fréquentiels. Comme indiqué précédemment, les indices binauraux contribuent également à la localisation sonore spatiale.

3- Cophose et (sub)cophose

a) Définition

La perte d'audition est classifiée en différents degrés par le Bureau International d'AudioPhonologie (BIAP). Elle est calculée par la moyenne des seuils sur le 0,5-1-2-4 kHz, et est toujours exprimée en dB HL (Hearing Loss) (cf. Figure 7).

Il y a différents types de surdités. On parle de surdité de transmission quand c'est l'oreille externe et/ou l'oreille moyenne qui est atteinte (la conduction osseuse est meilleure que la conduction aérienne = rinne audiométrique). Si c'est l'oreille interne qui est altérée, on est face à une surdité de perception (la conduction osseuse est collée à la conduction aérienne sur l'audiométrie). En dernier, on nomme surdité mixte, une perte auditive où l'on retrouve à la fois une surdité de perception et de transmission.

Une cophose est une perte auditive totale qui peut être unilatérale ou bilatérale. Elle est également appelée anacousie dans le domaine de l'audition. Selon le BIAP (Bureau International d'AudioPhonologie), cela correspond à une perte auditive moyenne est de 120 dB HL, il n'y a donc plus aucune perception sonore. On appelle surdité unilatérale (SSD : Single Sided Deafness) une perte auditive totale d'un côté avec une oreille controlatérale strictement normale. Lorsque la meilleure oreille

présente elle-aussi une perte auditive, on parle plutôt de perte auditive asymétrique (différence > 20 dB HL entre les deux seuils audiométriques).

Une (sub)cophose, quant à elle, est une surdité sévère à profonde présentant toutefois un reste auditif.

D'après le BIAP, les différents degrés de surdités sont définis de la façon suivante :

- Audition normale : de 0 à 20 dB HL de perte auditive.
- Perte auditive légère : de 21 à 40 dB HL de perte auditive.
- Perte auditive moyenne de 1^{er} degré : de 41 à 55 dB HL de perte auditive.
- Perte auditive moyenne de 2nd degré : de 56 à 70 dB HL de perte auditive.
- Perte auditive sévère de 1^{er} degré : de 71 à 80 dB HL de perte auditive.
- Perte auditive sévère de 2nd degré : de 81 à 90 dB HL de perte auditive.
- Perte auditive profonde de 1^{er} degré : de 91 à 100 dB HL de perte auditive.
- Perte auditive profonde de 2nd degré : de 101 à 110 dB HL de perte auditive.
- Perte auditive profonde de 3^{ème} degré : de 111dB HL à 119 dB de perte auditive.
- Perte auditive totale (cophose) : 120 dB HL de perte auditive.

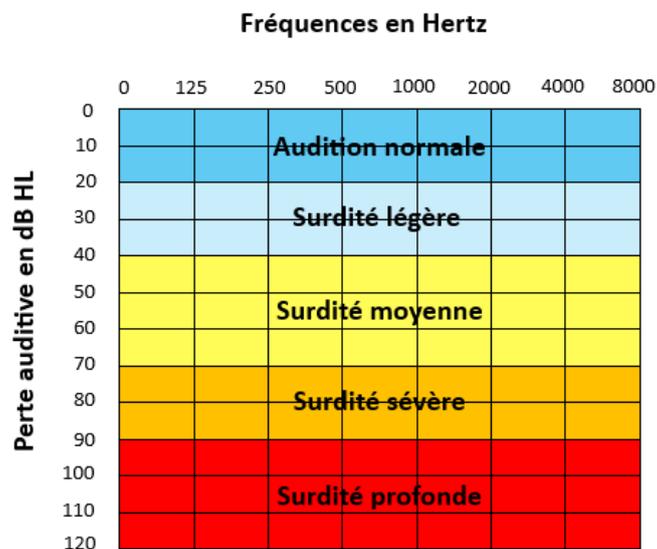


Figure 7- Classification des types de surdité suivant les différents degrés de perte auditive, par Marie-Charlotte Rochette

b) Etiologie

L'étiologie des (sub)cophoses est diverse. Il y a les surdités d'origine congénitale (avant la naissance de l'enfant) et celles survenues par la suite (post-natales). L'étude de Usami. et al. en 2017 ainsi que celle effectuée par Vila et al. en 2015 ont toutes les deux mis en avant les différentes causes possibles dans le cas de surdités congénitales. Par exemple, lors de sa grossesse, la maman a pu contracter une maladie infectieuse telle que l'infection parasitaire de la toxoplasmose ou le virus CMV (CytoMegalovirus). Le taux de transmission à l'enfant pour ce type de virus est de 30% à 47%. Lors de la grossesse, une prise de médicaments ototoxiques, une consommation d'alcool et/ou de drogue pourraient aussi être à l'origine de ces surdités, tout comme la prématurité. Au moment de l'accouchement, le manque d'oxygène dans le sang (hypoxémie) peut aussi être un facteur de surdité, comme l'oreille est très vascularisée. Les atteintes congénitales peuvent également être liées à des facteurs génétiques (surdités syndromiques : de Usher, agénésie du nerf cochléaire isolé...).

Les (sub)cophoses sont susceptibles d'apparaître à tout âge. Les différents types de traumatismes peuvent aussi être à l'origine de surdité unilatérale, tels que le traumatisme sonore, ou le traumatisme physique avec fracture du rocher par exemple. Pareillement, les infections (méningites, otites chroniques...) ou les tumeurs (scwhannome vestibulaire, traitement radiothérapie ou chimiothérapie...) sont des causes envisageables de surdité. Parfois, il n'y a pas d'explication à la surdité qui peut apparaître de façon brutale sans symptômes avant-coureurs.

c) Conséquences

Dans la plupart des cas, les patients présentant une perte auditive asymétrique, supérieure à 45 dB HL, souffrent en parallèle d'acouphènes invalidants. En effet, la perte auditive et la présence d'acouphènes sont étroitement liées d'après l'étude de Langguth. et al. en 2013. Sur une analyse de 286 sujets acouphéniques, l'audiogramme moyen montre une perte auditive importante au niveau des hautes-fréquences. Plus la perte auditive est importante, plus l'intensité de l'acouphène perçue est majorée.

Le fait de ne pas pouvoir bénéficier de l'audition binaurale impacte négativement la qualité de vie du patient. L'étude menée par Lucas. et al. en 2018 a démontré que les surdités unilatérales ont des conséquences psychologiques, sociales et fonctionnelles sur les sujets. Par exemple, la majorité des individus incluant leur étude, préfère limiter leur communication avec les personnes étrangères au cercle familial. Sachant que les interlocuteurs ne font pas forcément l'effort de se déplacer du côté de la bonne oreille, le malentendant est frustré de ne pas comprendre et préfère s'isoler.

Deux plaintes majoritaires sont rapportées par les patients présentant une surdité unilatérale. Dans cette circonstance particulière, la compréhension de la parole en environnement bruyant, ainsi que la capacité à localiser le signal sonore s'avèrent être difficiles à appréhender comme l'affirment Kitterick. et al. en 2015.

d) Appareillages envisageables pour une surdité asymétrique

En cas de surdité de transmission, on peut utiliser un système en conduction osseuse (BAHA : Bone Anchored Hearing Aid). La captation du son est similaire à une aide auditive conventionnelle par voie aérienne. En effet, le son est réceptionné par des

microphones externes et sont transmis directement par vibration osseuse au niveau de l'oreille interne afin de court-circuiter l'oreille externe et l'oreille moyenne. En présence d'une (sub)cophose unilatérale, c'est le même principe, excepté le fait que le son est cette fois-ci transféré du côté de l'oreille controlatérale grâce au transfert transcrânien. Nous avons travaillé avec les aides auditives ostéo-intégrées proposées par le fabricant autrichien Cochlear (modèle BAHA 6 Max, cf. Figure 8).



Figure 8- Modèle BAHA 6 Max, site Cochlear

D'autres fabricants proposent des appareils à conduction osseuse tels que Oticon Medical avec son modèle Ponto 5 ou encore MED-EL avec les appareils BoneBridge et Adhear.

On peut aussi opter pour un appareillage par voie aérienne. Dans cette situation, on utilise les aides auditives habituelles de type micro-contours d'oreilles (RIC : Receiver In Canal) ou contours d'oreilles conventionnels (BTE : Behind The Ear).

Trois possibilités sont envisageables :

- Tout d'abord, si l'oreille controlatérale à la (sub)cophose est normale (seuils compris entre 0 et 20 dB HL de perte auditive) on va aborder le thème de CROS (Contralateral Routing Of Signal). Cette technologie initialement filaire, donc peu esthétique a été revisitée afin que le transfert entre les deux appareils auditifs puisse se faire uniquement par l'intermédiaire d'une connexion HIBAN

(Hearing Instrument Body Area Network) notamment chez Phonak. Il s'agit d'une technologie inductive à codage numérique, utilisant une fréquence porteuse de 10,6 MHz. La captation du son se fait du côté de l'oreille sourde par un appareil auditif servant uniquement de microphone. Ensuite, le son est transféré à l'oreille opposée, normo-entendante, via une aide auditive conventionnelle. Ce principe est explicitement décrit dans l'article de Snapp H. en 2019. Il détaille la condition d'écoute monaurale nécessaire à l'indication d'un système de renvoi d'informations (CROS).

- Quand l'oreille controlatérale à la cophose présente elle aussi une perte auditive, on utilise cette fois le système nommé BiCROS (Bilateral Contralateral Routing Of Signal). Dans ce cas précis, l'oreille opposée à la cophose reçoit à la fois les informations de l'oreille défaillante, mais aussi la correction pour palier la perte auditive sur ce même côté (cf. Figure 9).

Enfin, il existe une dernière méthode de stimulation utilisée depuis 2016. C'est un système encore nouveau, et qui va certainement évoluer avec le temps. Lorsque l'oreille est (sub)cophotique, c'est-à-dire quand il y a encore des restes auditifs du côté de l'oreille la plus défaillante, on stimule acoustiquement les deux oreilles tout en conservant le renvoi du côté de la meilleure oreille. Le fait de stimuler les deux oreilles permettrait de recouvrer une sensation de stéréophonie. Il s'agit du StéréoBiCROS ou le TriCROS qui détourne la fonction « Téléphone acoustique ». Le signal du téléphone est reçu par l'un des appareils auditifs via Bluetooth, qui va le rediriger sur le deuxième par le système NFMI (Near-Field Magnetic Induction). Cette technologie proposée par la plupart des fabricants consiste à faire communiquer les aides auditives entre elles. Ce nouveau système de réhabilitation auditive est présenté par Morgan Potier en 2022 dans son étude « (sub)cophose et système StéréoBiCROS ». De plus, son analyse a

démontré une amélioration du score SSQ-15, une meilleure localisation sonore, et une atténuation de l'acouphène par le biais de cette moderne stratégie audioprothétique.

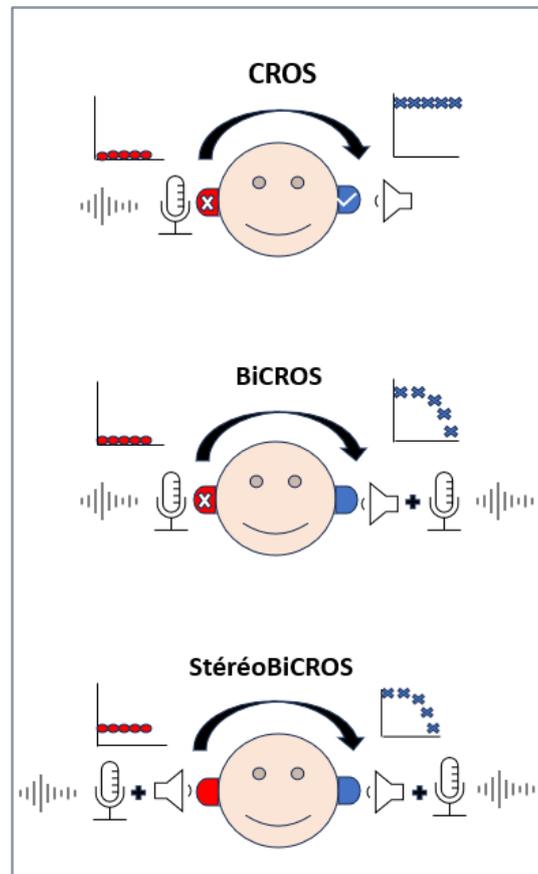


Figure 9- Systèmes CROS, BiCROS et StéréoBiCROS par Marie-Charlotte Rochette

III- Partie expérimentale

1- Matériels et méthodes

Les patients qui incluent l'expérimentation ont tous été bénévoles. Chaque participant a donné son consentement libre et éclairé avant de participer à l'étude.

a) Matériels

L'ensemble des tests audiométriques effectués dans le cadre de l'étude ont été réalisés en cabine audiométrique insonorisée. Celle-ci répond aux exigences

imposées dans l'article D 431-19 du code de la santé publique fourni par le ministère des Solidarités et de la Santé.

Le matériel audiométrique se compose d'abord d'un audiomètre clinique Otometrics Madsen Astera du fabricant Natus Medical basé au Danemark. Il a été nécessaire d'effectuer un étalonnage de cet équipement avant son utilisation afin de répondre aux normes ISO-389. Le but est de spécifier un seuil de référence pour l'évaluation des niveaux liminaires d'audition. Après vérification du conduit auditif externe par examen otoscopique et contrôle de l'appareillage, une audiométrie tonale en conduction aérienne est réalisée aux inserts avec des sons vobulés (Otoinserts, référence 1078 du fabricant Natus Medical). La méthode choisie est celle de Hughson et Westlake (Carhart R. et Jerger J. en 1959) soit, par encadrement après que le patient confirme sa perception.

Le système de localisation spatiale a été fourni par la société française AMM-ORL Jeg Médical. Ce matériel a lui aussi été vérifié et étalonné par Arnaud Jeanvoine pour correspondre aux normes ISO 8253-2. Il comporte deux cartes sons USB 7.1 du fabricant StarTech aux Pays-Bas, trois amplificateurs nommés Delta A6 ainsi que le système de 16 haut-parleurs Alpha-14 de la société française Siare. Evidemment, nous utilisons un ordinateur disposant de tous les logiciels nécessaires ainsi que les questionnaires traités dans le cadre de l'étude. Nous exploitons le questionnaire de latéralité d'Edinburgh, le Cognitive Disorders Examination (CoDEX) ainsi que le Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale-15 (SSQ). Le questionnaire de latéralité manuelle permet au patient d'indiquer sa préférence dans l'utilisation d'une main ou l'autre pour différentes situations. Le score détermine une latéralité manuelle pour un des côtés. Le test CoDEX permet d'estimer les éventuels troubles cognitifs des patients de façon très rapide, ce qui a été prouvé par l'étude de Belmin et al. en 2007.

Une classification est faite par les lettres suivantes : A (suspicion très faible), B (suspicion faible), C (suspicion élevée), D (suspicion très élevée). Lorsque le résultat se révèle être égal ou supérieur à C, il est préférable de faire des tests plus approfondis auprès d'un neurologue. Le SSQ-15 quant à lui comprend quinze items répartis en trois sous-groupes. La première partie s'intitule « Ecoute de la parole », la seconde « Audition spatiale », la troisième « Qualité auditive ». Ce choix s'explique car la version initiale en quarante-neuf items s'avérait plus difficile à mettre en pratique vu le temps nécessaire pour le remplir. Un article de validation du questionnaire a été rédigé par Annie Moulin et al. en 2019. Le temps de remplissage peut varier de dix minutes à près d'une heure pour certains patients, pour la forme longue du SSQ. Ils ont montré une forte corrélation entre les résultats de la version longue du SSQ avec la version courte, d'où l'intérêt de privilégier cette version.

b) Critères d'inclusion

Les sujets qui ont fait partie de cette étude présentaient tous une perte auditive neurosensorielle, avec une (sub)cophose d'un côté et l'oreille controlatérale à celle-ci ne présentait pas un déficit auditif supérieur à une perte moyenne suivant la classification du BIAP. Ils étaient tous appareillés depuis plus de 6 mois, et l'appareillage était soit par voie aérienne ou osseuse. En effet, une patiente intégrée à l'étude portait un appareil à ancrage osseux (BAHA). Tous les sujets étaient droitiers, d'après le test de Latéralité d'Edinburgh caractérisé par un score positif pour que le facteur de latéralité n'interfère pas sur les résultats de localisation spatiale. La durée minimale du port journalier des aides auditives devait être au minimum de 7h/jour. Les fonctions cognitives des sujets ne devaient pas être altérées, les résultats du test CoDEX pouvant être « A » et « B » uniquement.

c) Critères d'exclusion

Tous les sujets présentant une surdité fluctuante (diabétique par exemple) n'ont pas intégré l'étude. De leur côté, les participants ne pouvaient pas s'engager dans une expérience parallèle. Les implantés cochléaires n'ont pas pu prendre part à la recherche puisque les tests ont permis d'évaluer l'appareillage CROS sans réhabilitation du côté de la cophose. De même, les sujets n'utilisant que le programme StéréoBiCROS n'ont pas pu réaliser les tests pour la même raison que l'implant cochléaire, cette solution stimulant le côté de la perte auditive sévère à profonde. Enfin, les sujets qui n'auraient pas effectué l'ensemble des tests ne sont pas pris en compte.

d) Procédure des tests

Le patient est placé sur une chaise rotative fixée au sol, réglable en hauteur ainsi qu'en orientation afin que le positionnement soit correct. En effet, celui-ci doit être respectivement installé au milieu de l'armature des seize haut-parleurs à une distance d'un mètre. La résolution angulaire entre chacun des haut-parleurs est de $22,5^\circ$ et tous sont numérotés de 1 à 7 avec la lettre D pour le positionnement azimuthal droit et les autres avec la lettre G pour le positionnement contralatéral. Le haut-parleur numéroté 0 est celui de référence qui est donc face au patient et le 8 étant son strict opposé, se situe derrière lui. La mobilité de la tête est autorisée lors de l'exercice de localisation spatiale (cf. Figure 10).

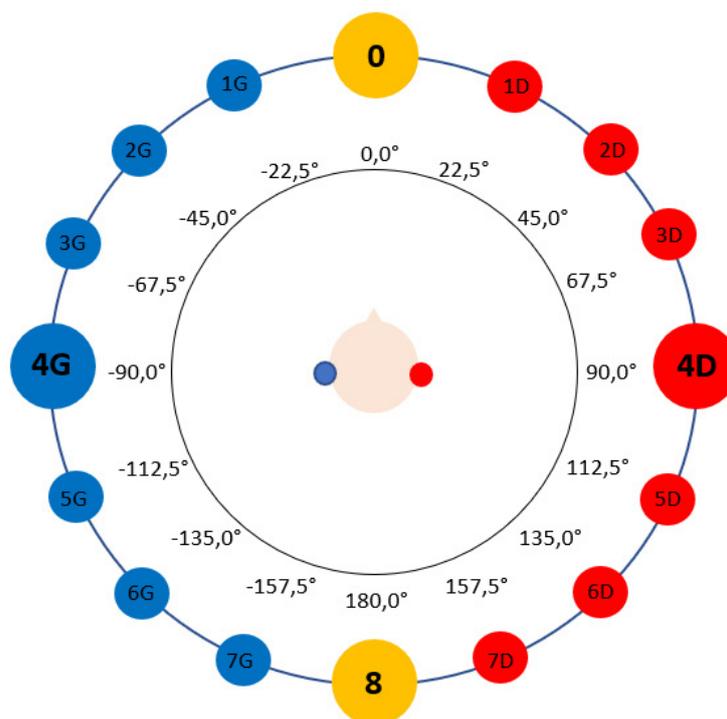


Figure 10- Représentation graphique du système de localisation avec 16 haut-parleurs, par Marie-Charlotte ROCHETTE

Le premier rendez-vous débute par un examen otoscopique puis une vérification de l'appareillage du patient pendant que celui-ci complète le questionnaire SSQ-15. Ensuite, le patient remplit le questionnaire de latéralité manuelle d'Edinburgh, ainsi que le test CoDEX pour confirmer sa compatibilité à l'étude si le score est A ou B.

Une audiométrie tonale en conduction aérienne est réalisée par pas de 2 dB sur la bande fréquentielle 0.25 kHz à 8 kHz en incluant les inter-fréquences. Pour cela, nous utilisons les inserts afin que la précision soit optimale grâce à la réduction de cavité résiduelle mais aussi pour limiter le transfert transcrânien. Etant donné que les patients présentaient tous une surdité asymétrique, il a été nécessaire d'utiliser un masquage pour éliminer l'audition de la bonne oreille. Pour cela, un assourdissement à l'aide d'un bruit blanc a été nécessaire puisque la différence entre le seuil de conduction aérienne était supérieure à 50 dB HL par rapport à la conduction osseuse controlatérale.

Nous procédons à l'audiométrie vocale en situation calme avec les listes dissyllabiques de Lafon. Ensuite, nous réalisons le test Dodelé en champ libre avec la parole sortant du haut-parleur face au patient en y ajoutant un bruit OVG (Onde Vocale Globale) au-dessus du patient. La parole est présentée à 60 dB SPL, et le rapport signal/bruit (RSB) est de plus en plus faible variant de +10 dB, à -5 dB (dans ce dernier cas le bruit est 5 dB SPL plus fort que l'intensité de la parole). Cela permet de mettre en évidence les difficultés de compréhension rencontrées en environnement bruyant, d'autant que la suppléance mentale est nulle sachant que c'est ici, une répétition de logatomes que l'on demande au patient.

Le sujet est autorisé à porter de nouveau ses appareils auditifs dans le but de mesurer les seuils prothétiques tonals et vocaux pour en déduire le gain prothétique.

Enfin, nous réalisons un stéréo-équilibre effectué par fréquence, à l'aide d'un bruit blanc à intensité confortable, qui permet d'équilibrer la sonie entre les deux oreilles. Cette première rencontre s'achève par le test Dodelé réalisé en champ libre avec l'appareillage. En moyenne, ce premier rendez-vous dure une heure et demie.

Le second rendez-vous, débute par une vérification des conduits auditifs externes, à la suite de quoi le patient tire au sort si le premier test de localisation sonore se fera oreilles nues ou avec l'appareillage auditif pour éviter l'effet d'apprentissage. Subséquemment, la procédure du test de localisation spatiale est expliquée aux patients avant de débiter par un essai.

La personne indique le haut-parleur dont elle suppose que le stimulus provient. Pour cela, une représentation schématique du système de 16 haut-parleurs lui est remise. Le type de stimulus qui a été choisi pour cette expérience est la parole avec liste dissyllabique de Fournier (à 65 dB SPL) en rajoutant un bruit OVG à intensité plus

faible (55 dB SPL), pour que le signal de parole ne fasse pas écho dans la pièce en situation calme. Cela pourrait effectivement rendre la situation plus complexe en matière de localisation spatiale. Aussi, dans le but de limiter l'effet du hasard, 8 répétitions seront présentées sur chacun des haut-parleurs. A la fin des 128 stimulus, l'enregistrement se fait automatiquement. Un entraînement a toujours été effectué avec une série d'une dizaine de mots environ pour que le patient ne soit pas surpris lors des premières stimulations sonores. Des pauses ont été respectées pour que les patients gardent leur concentration maximale durant toute la durée des tests. Ils ont eu la possibilité de se reposer et un café leur a été proposé. Assurément, c'est un exercice qui nécessite une concentration importante pour le patient pouvant présenter une fatigabilité à l'issue du premier test de localisation spatiale.

L'expérimentation se poursuit en réalisant cette fois-ci le même test de localisation spatiale dans la deuxième condition. Cette deuxième entrevue a été de même durée que la précédente.

La figure 11 résume l'ensemble des tests effectués avec les patients incluant l'expérimentation.

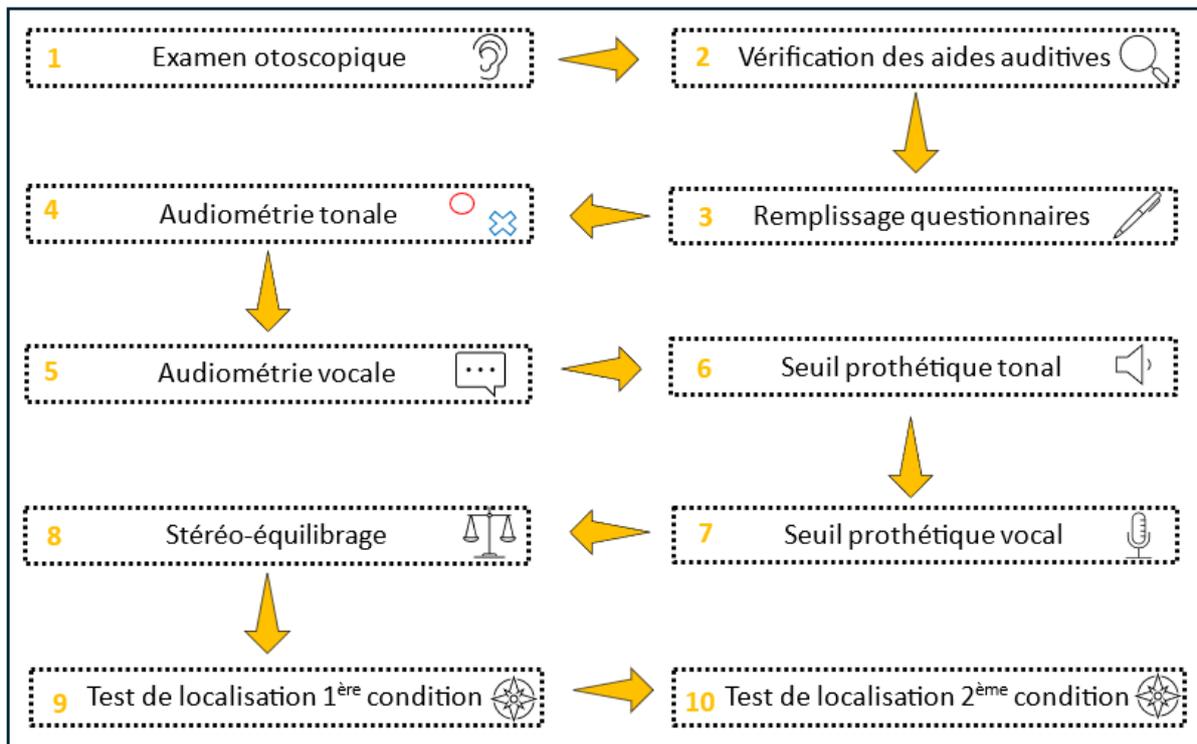


Figure 11- Chronologie des différentes étapes des tests réalisés auprès de chaque patient en deux temps- par Marie-Charlotte Rochette

Les participants ont été séparés en deux groupes distincts : les patients atteints de (sub)cophose droite et ceux avec une (sub)cophose gauche. La cohorte de (sub)cophoses droites fut composée de 2 femmes et de 7 hommes âgés de 39 à 79 ans (âge moyen 67.78 ans +/- 12.38 ans). Pour ce qui est des (sub)cophoses gauches, le groupe fut composé de 5 femmes et 4 hommes, âgés de 46 à 75 ans (âge moyen 64.67 ans +/- 10.85 ans).

Le logiciel fabricant a révélé que le port journalier était en moyenne de 10h/jour +/- 2,64h d'après le data-logging donc bien supérieur au critère d'inclusion de 7h.

72% d'entre eux souffrent d'un acouphène de type sifflement, soit bilatéral soit latéralisé du côté de la (sub)cophose (cf. Tableau 2).

Patient	Sexe	Âge	Durée de privation auditive (en mois)	Côté (sub)cophotique	Perte moyenne côté sub (dB HL)	Acouphènes	Côté acouphènes	Type acouphènes
1	♂	39	348	D	114	NON	✘	✘
2	♂	73	516	D	117	OUI	ODG	Bourdonnement
3	♂	79	180	D	120	OUI	D	Sifflement
4	♂	73	96	D	119	OUI	D	Sifflement
5	♂	60	492	D	120	OUI	D	Sifflement
6	♂	74	108	D	100	OUI	D	Bourdonnement
7	♀	63	492	D	120	NON	✘	✘
8	♂	76	132	D	85	NON	✘	✘
9	♀	73	768	D	80	OUI	D	Sifflement
10	♂	75	288	G	120	NON	✘	✘
11	♂	75	156	G	93	OUI	G	Bruit de vent
12	♂	74	780	G	76	OUI	G	Sifflement
13	♀	71	156	G	90	OUI	G	Chuintement
14	♀	65	120	G	92	OUI	G	Ligne haute-tension
15	♀	59	156	G	111	OUI	G	Chuintement
16	♂	67	684	G	90	NON	✘	✘
17	♀	46	84	G	117	OUI	G	Chuintement
18	♀	50	528	G	97	OUI	G	Sifflement
Moyennes pour N=18	H=11 F= 7	66.22	338	9 OD – 9 OG	103	5 = non 12 = oui	✘	✘

Tableau 2- Récapitulatif des critères patients

La perte auditive moyenne (Pure Tone Average) en audiométrie tonale a été calculée pour les fréquences 0.5-1-2-4 kHz d'après le BIAP. La moyenne pour les (sub)cophoses droite est 108 dB HL +/- 17,8 dB HL et la surdité controlatérale associée est de 36,4 dB HL +/- 19 dB HL. Pour les (sub)cophoses du côté opposé (gauche) la moyenne s'élève cette fois-ci à 98,1 dB HL +/-19,9 dB HL, avec une perte auditive controlatérale ayant pour moyenne 32,3 +/- 14,8 dB HL (cf. Figure 12). Nous avons d'abord vérifié la normalité ainsi que l'égalité des variances, fréquence par fréquence, entre les sujets (sub)cophotiques droits et les sujets (sub)cophotiques gauches. Nous pouvons affirmer qu'il n'y a pas de différence significative entre les pertes auditives du côté malentendant, mais aussi du côté controlatéral à la (sub)cophose d'après les valeurs de p du t-test toutes largement supérieures à 0.05 (comprises entre 0.13 et 0.87 pour le côté (sub)cophotique et de 0.20 à 1 pour le côté opposé).

Toutes les valeurs de p-value ont été rassemblées dans l'annexe 9.

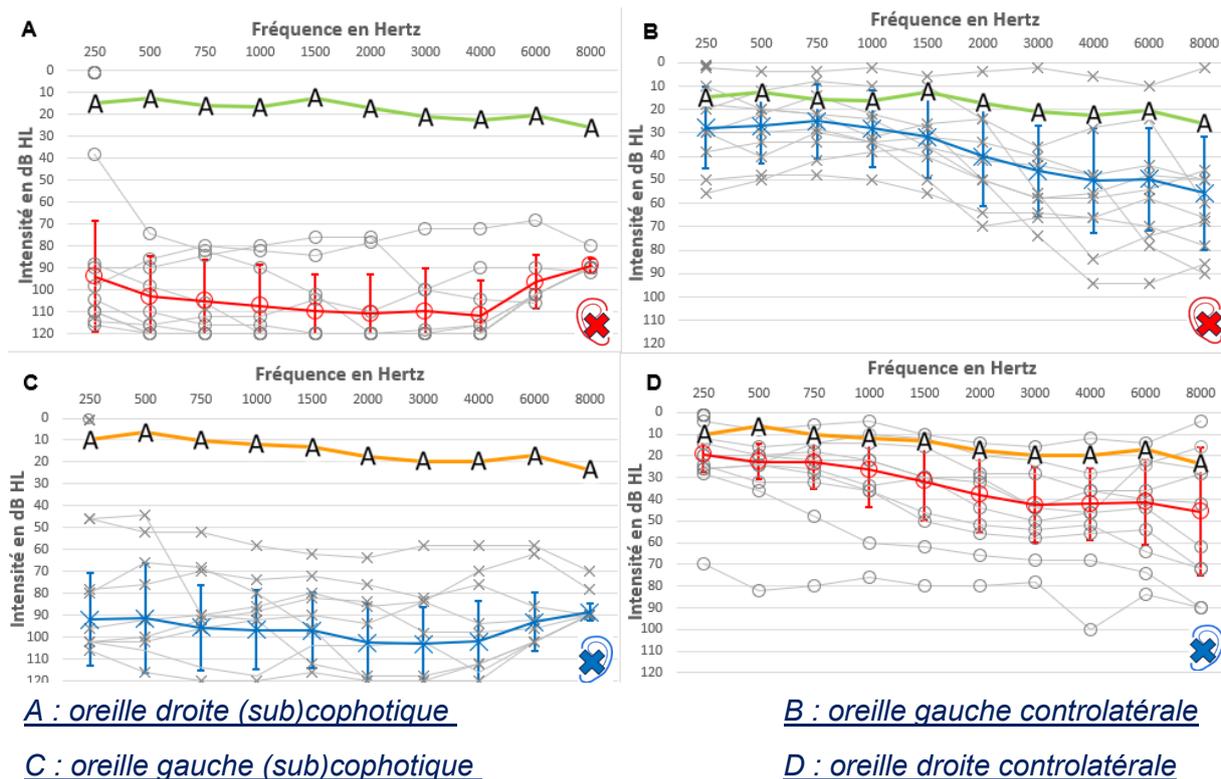
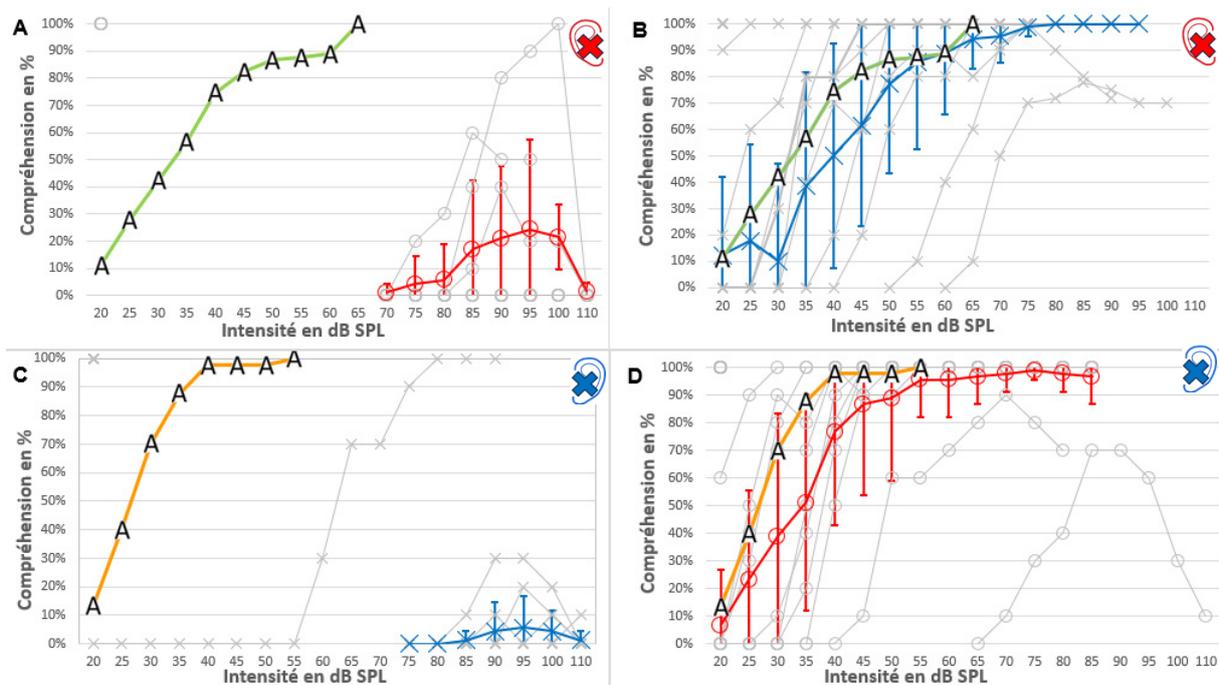


Figure 12- Audiométrie tonale aux inserts de l'ensemble des participants, ronds pour l'oreille droite, croix pour l'oreille gauche, et courbes colorées pour les moyennes (rouge seuil tonal liminaire oreille droite – bleu seuil tonal liminaire oreille gauche – 'A' pour seuils prothétiques tonals bilatéraux)

Les résultats de l'audiométrie vocale avec les listes dissyllabiques de Lafon sont modestes du côté de la (sub)cophose. Logiquement, les restes auditifs ne permettent pas une bonne compréhension de la parole (25% de compréhension à 95 dB HL). En revanche, l'oreille controlatérale présente de meilleurs résultats même si la perte auditive de ce côté ne permet pas une compréhension totale de la parole lorsque l'intensité est faible (cf. Figure 13).



A : oreille droite (sub)cophotique

C : oreille gauche (sub)cophotique

B : oreille gauche controlatérale

D : oreille droite controlatérale

Figure 13- Audiométrie vocale aux inserts de l'ensemble des participants, ronds pour l'oreille droite, croix pour l'oreille gauche et courbes colorées pour les moyennes (rouge audiométrie vocale oreille droite – bleue audiométrie vocale oreille gauche – 'A' pour seuils prothétiques vocaux bilatéraux)

Un groupe contrôle de 11 sujets a été constitué dans l'objectif de vérifier qu'une hypoacousie simulée à gauche impacte davantage les capacités de localisation sonore comparativement aux groupes de malentendants. Cette hypothèse s'inscrit dans la logique de l'étude de Ha. et al réalisée en 2022. Celle-ci portait sur l'analyse des capacités de localisation sonore après 6 mois d'appareillage unilatéral chez 13 sujets malentendants droits et 19 atteints du côté gauche, en utilisant 8 haut-parleurs avec émission de bruit blanc. Des résultats, statistiquement significatifs ($p < 0.05$), montrent une meilleure performance au test de localisation chez le groupe malentendant du côté droit.

Tous les normo-entendants étaient droitiers d'après le test de latéralité d'Edinburgh et présentaient une audition binaurale strictement normale (perte entre 0 et 20 dB HL). Pour s'en assurer, une audiométrie tonale en conduction aérienne est réalisée aux inserts, ainsi qu'une audiométrie vocale dans le calme et dans le bruit.

Comme pour les groupes de (sub)cophotiques, une randomisation a été effectuée par un tirage au sort réalisé par le patient lui-même afin d'éviter l'effet d'ordre de passage. Dans la situation de perte auditive simulée, un masquage était appliqué à l'aide d'un insert avec un bruit blanc d'une intensité de 55 dB SPL.

Nous avons opté pour ce type de bruit car il permet d'isoler la personne de son environnement sonore. Par définition, c'est un son dont la densité spectrale est de même puissance pour toutes les fréquences. Il est composé de l'ensemble des fréquences audibles à l'oreille humaine soit de 20 Hz à 20 000 Hz. Il est souvent utilisé en thérapie sonore pour soulager les patients acouphéniques.

e) Analyse Statistique

Les données récoltées ont été vérifiées afin de confirmer une distribution normale. Pour cela, le test statistique de Shapiro Wilk a été utilisé. L'hypothèse nulle est que la distribution suit une loi dite « gaussienne », ou « normale ».

- Si la valeur de p est supérieure à la valeur de significativité (0.05), l'hypothèse de normalité est donc tolérée.
- Si la valeur de p est inférieure à 0.05, on rejette l'hypothèse nulle.

Toutes les données utilisées pour l'élaboration de ce mémoire ont été vérifiées et suivent la loi normale.

Pour la majorité des résultats, nous nous référons au test statistique Anova à mesures répétées (Analysis Of Variance), Il est aussi appelé analyse de la variance en français, et a vu le jour au début du XX^{ème} siècle grâce à Ronald Fischer. Le test implique les deux facteurs suivants : le nombre de haut-parleurs (16) et les conditions (souvent 2 mais parfois plus). Nous avons opté pour celui-ci car il s'agit d'un test statistique très utilisé pour savoir s'il y a une différence statistiquement notable entre deux groupes. Ce choix s'explique du fait qu'il y ait plus de deux échantillons à comparer.

F est nommée la valeur statistique, c'est la comparaison des moyennes entre les deux groupes, avec la moyenne au sein des groupes.

La valeur statistique appelée p-value mesure la significativité des résultats obtenus lors du test d'Anova. Le seuil de significativité a été choisi arbitrairement à 5%. Si la valeur de p obtenue est inférieure à 5%, toutes les moyennes des groupes ne sont pas égales. A l'inverse, si le résultat obtenu pour la p-value est supérieur à 5%, on ne pourra pas conclure sur le fait que les moyennes soient statistiquement identiques ou non.

- Si $p < 0.05$ alors *
- Si $p < 0.01$ alors **
- Si $p < 0.001$ alors ***

Plus la valeur de p est faible, plus il y a de chance que la différence de moyenne entre les groupes soit réelle.

Pour l'analyse des résultats du questionnaire SSQ-15 ainsi que la vocale dans le bruit, un t-test a été utilisé pour comparer les deux groupes composés des mêmes sujets sans et avec appareils auditifs. Nous émettons l'hypothèse que le score du SSQ-15 post-appareillage, ainsi que la vocale dans le bruit avec appareils devraient être

meilleurs que dans la situation oreilles nues, du fait d'un gain prothétique. Les résultats ont donc été exploités dans la situation unilatérale ($pA < pB$).

Aussi, sur la plupart des graphiques, l'erreur standard est représentée. Celle-ci a été calculée selon la formule suivante :

$$\text{Erreur standard} = \sigma (\text{écart-type}) / \sqrt{\text{nb sujet}}$$

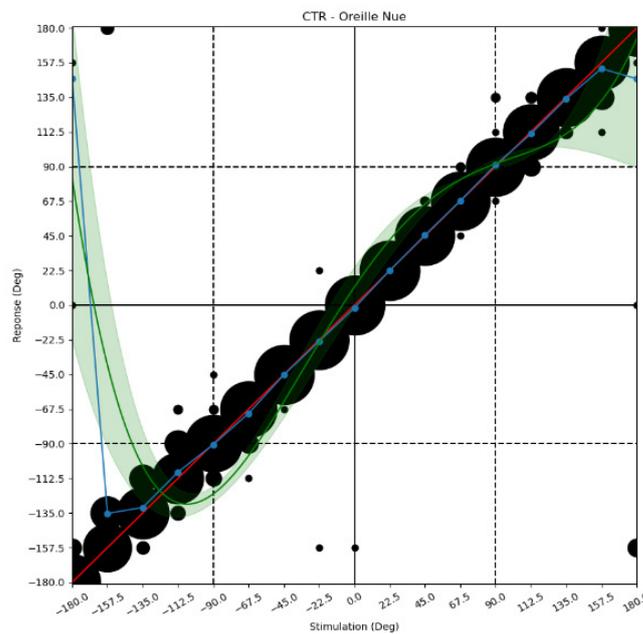
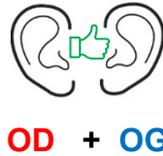
2- Résultats

Sur les graphiques de localisation spatiale, la courbe rouge représente la réponse idéale sans erreur (c'est la référence), la courbe bleue décrit la moyenne des haut-parleurs, la verte donne la tendance de la courbe (prédiction) et la zone colorée en vert décrit la déviation standard. En abscisse, c'est l'angle réel (sortie haut-parleur) alors qu'en ordonnée c'est l'angle répondu par le patient. Aussi, plus le point noir est large, plus le nombre de personnes à avoir répondu ce haut-parleur est important. Les angles positifs représentent les haut-parleurs de la demi-sphère droite, alors que les angles négatifs correspondent aux haut-parleurs du côté gauche. Un sujet qui ne commettrait aucune erreur de localisation spatiale verrait ses résultats alignés sur la diagonale.

a) Etalonnage du test de localisation chez le normo-entendant

Chez le groupe de normo-entendants (NE), les réponses sont proches de la diagonale dont le RMSE est de $9^\circ \pm 5,99^\circ$. Cette figure permet de valider le système puisqu'on suit bien la diagonale (cf. Figure 14). Spontanément, nous remarquons que la localisation du normo-entendant est très bonne. Quelques erreurs sont notables, toutefois elles restent mineures. Le sujet se trompe peu de haut-parleurs ce qui fait

que l'angle entre le haut-parleur de sortie et le haut-parleur énoncé par la personne est faible. Les quelques fautes effectuées commencent à partir de l'angle 90.0° (ou -90.0°). Il a été légèrement plus difficile de localiser le son lorsque celui-ci provenait de l'arrière.



*Figure 14- Localisation spatiale par angle
chez le normo-entendant*

La figure suivante (15A) représente l'erreur de localisation angle par angle chez le patient atteint d'une surdité profonde du côté droit. Nous notons que la localisation d'une source sonore gauche est assez juste. Le patient est capable d'identifier que le son provient bien du côté gauche. Lorsque le haut-parleur face au patient est actif (0°), il le perçoit en grande majorité du côté gauche. Quand les haut-parleurs fonctionnels sont du côté droit (côté de la (sub)cophose), il est plus difficile pour le patient de latéraliser la source sonore. Cela explique les points noirs en bas du graphique qui

sont très éloignés de la diagonale rouge. Souvent, le patient situe la source sonore derrière lui car il entend le signal à intensité plus faible du fait de sa surdité.

La figure 15B représente les écarts de localisation par angle, pour les patients atteints cette fois-ci d'une (sub)cophose gauche. Les réponses données lorsque les haut-parleurs sont situés à sa droite paraissent cohérentes. Effectivement, elles encadrent bien la diagonale qui représente la normale. Lorsque le haut-parleur de sortie est situé juste en face de la meilleure oreille ($+90^\circ$), le point noir est de diamètre plus important. Cela signifie que les réponses sont correctes, ou proches de la normale. Toutefois, lorsque la source sonore se situe du côté de la (sub)cophose, ici du côté gauche, les erreurs sont nettement plus importantes. Précisément, le patient continue à latéraliser du côté droit et parvient rarement à discerner un son du côté gauche. Ainsi, les nombreux points noirs sont plutôt positionnés vers les haut-parleurs positifs (à droite) et avec une angulation élevée (à l'arrière). Ceux qui ont réussi à situer le stimulus du côté gauche, ont peu désigné le bon haut-parleur. La localisation est rarissime à l'avant du côté gauche.

Pour les figures 15C et 15D, le patient portait ses aides auditives (soit en CROS soit en BiCROS lorsque l'oreille controlatérale était corrigée). Nous constatons une légère amélioration des capacités à localiser la source sonore notamment lorsque la (sub)cophose est située à gauche. Effectivement, plus de patients ont été capables de latéraliser la source sonore du bon côté et même si ce ne fut pas toujours le cas, l'écart angulaire entre le haut-parleur de sortie et le haut-parleur répondu est moindre. A l'inverse, nous notons une légère dégradation des performances de localisation avec l'appareillage pour les (sub)cophoses droites.

b) Localisation chez le malentendant

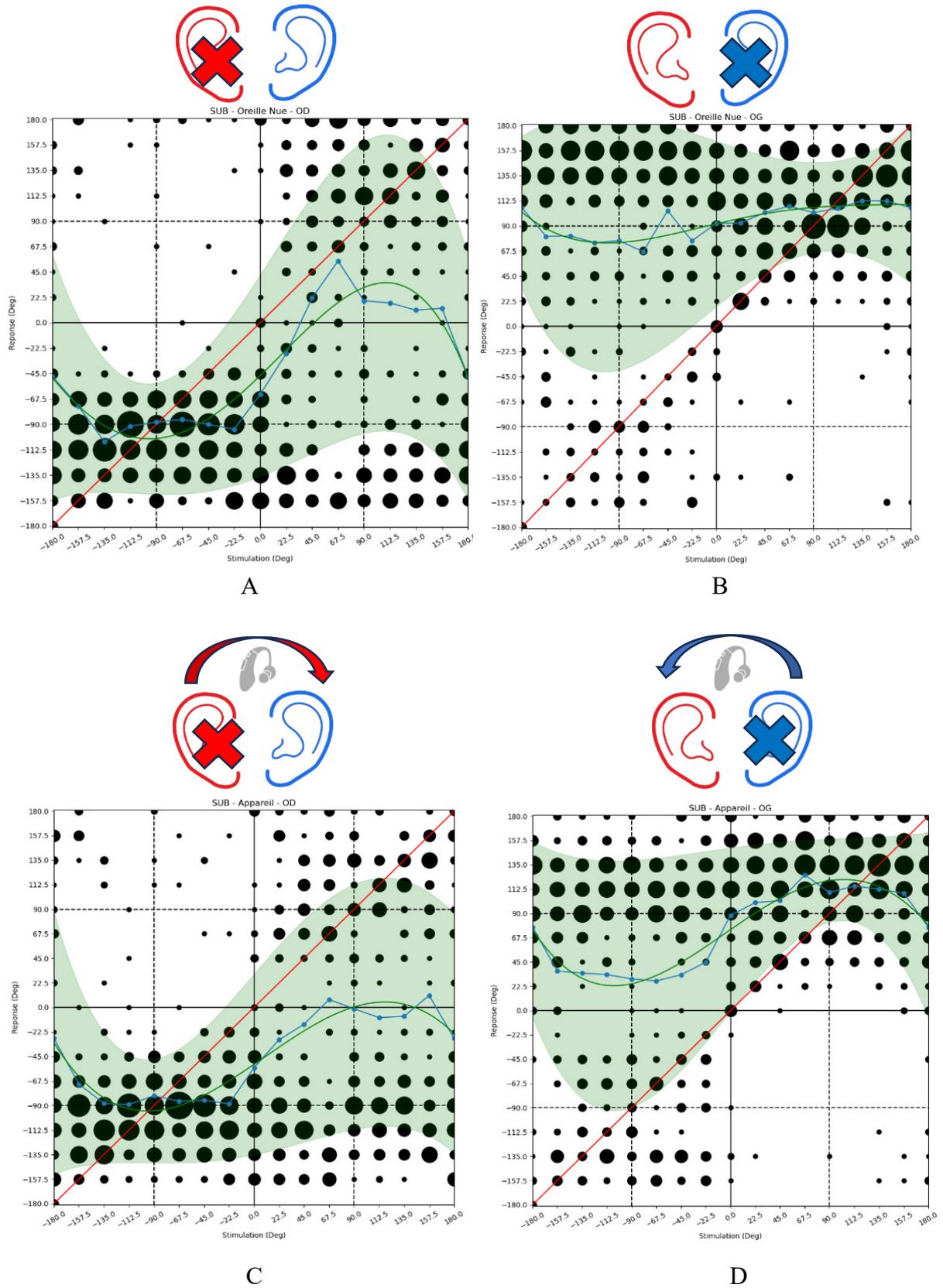


Figure 15 – Localisation spatiale par angle chez le malentendant (A- (sub)cophoses droites sans appareils, B- (sub)cophoses gauches sans appareils, C- (sub)cophoses droites appareillées, et D- (sub)cophoses gauches appareillées)

D'un point de vue statistique, il n'y a pas de différence notable entre la localisation spatiale sans l'appareillage CROS et avec puisque d'après le test d'Anova $p > 0.05$. Il s'avère également impossible de conclure quant à l'effet du côté de la (sub)cophose sur les capacités de localisation spatiale car $p > 0.05$.

L'erreur quadratique moyenne (RMSE en anglais) représente la différence entre les valeurs contractuelles du modèle comparativement à celles réellement obtenues. Par conséquent, ce résultat s'avère toujours être positif. Plus les valeurs obtenues sont éloignées de celles estimées, plus l'erreur quadratique moyenne sera élevé.

La formule mathématique du RMSE est la suivante :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

Avec n = nombre d'observations, y_i = valeurs obtenues, \hat{y}_i = valeurs programmées

Sur la figure ci-dessous, nous notons une légère différence de localisation entre les (sub)cophoses droites et les (sub)cophoses gauches (cf. Figure 16). Dans la situation « oreilles nues » et lorsque la cophose est latéralisée à gauche, le RMSE moyen est plus important. Effectivement, quand la (sub)cophose est à droite le RMSE moyen s'élève à $81,72^\circ \pm 14,50^\circ$ alors qu'il est de $91,93^\circ \pm 11,44^\circ$ quand l'oreille gauche est (sub)cophotique. Nous en déduisons que la localisation spatiale s'est avérée plus difficile pour les sujets présentant la (sub)cophose à gauche. Néanmoins, d'après le test statistique d'Anova, la différence de localisation entre les deux côtés de (sub)cophoses n'est pas statistiquement significative ($p > 0.05$) . Aussi, nous avons

analysé l'efficacité de l'appareillage CROS/BiCROS sur les capacités de localisation spatiale.

L'appareillage a tendance à dégrader les capacités de localisation spatiale. Pour les (sub)cophoses droites, le RMSE moyen passe de 81,72° oreilles nues à 87,57° +/- 17,61° avec l'appareillage. De même, pour le côté gauche, l'erreur quadratique moyenne est de 91,93° oreilles nues, alors qu'il augmente très légèrement pour atteindre une moyenne de 92,78° +/- 15,49°. Le système avec renvoi d'informations sur l'oreille controlatérale perturberait davantage les (sub)cophoses droites.

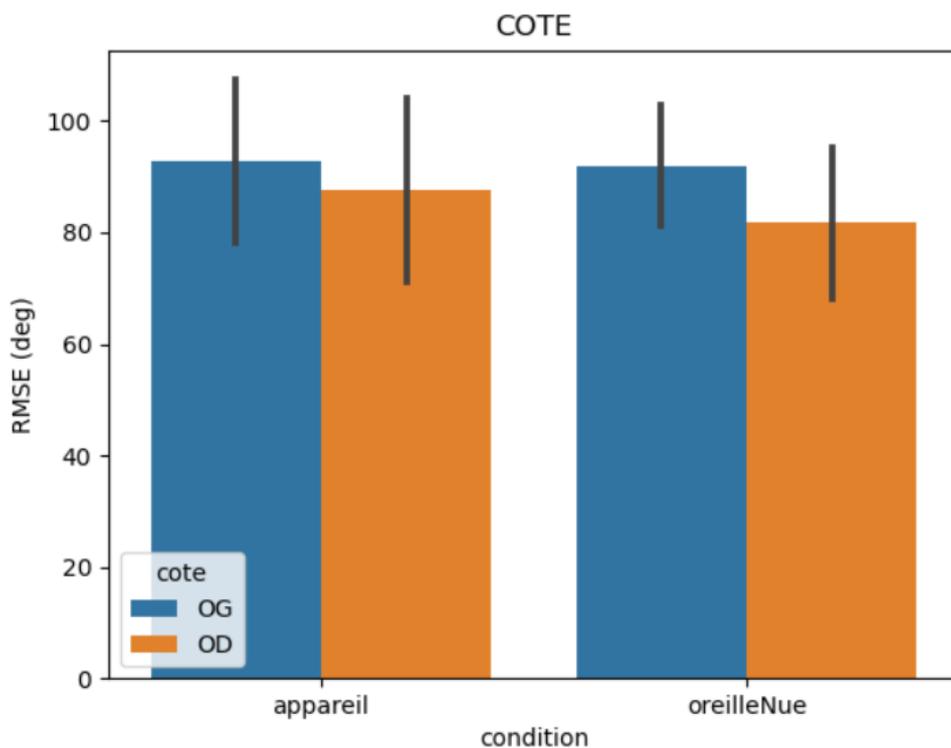


Figure 16- Erreur quadratique moyenne exprimée en degrés par sous-population droite/gauche (oreilles nues ou appareillées)

L'ensemble des résultats correspondants aux RMSE est réuni dans l'annexe 5.

La figure 17 représente l'erreur de localisation spatiale en distance selon l'angle d'incidence. Un sujet qui ne se serait trompé sur aucun haut-parleur verrait sa courbe de réponse alignée sur le zéro.

La courbe jaune décrit l'erreur de localisation chez le patient (sub)cophotique du côté droit sans son appareillage auditif. Elle peut être comparée avec le tracé bleu qui correspond aux erreurs de localisation chez les mêmes sujets mais cette fois-ci avec leurs aides auditives. Nous constatons que pour tous les sons provenant de la demi-sphère avant (-90.0 à 90.0°), les erreurs de localisation sont importantes et souvent latéralisées vers la gauche. L'erreur de localisation s'élève à 90.0° lorsque la source sonore est située face au patient. Pour toutes les sources sonores originaires du côté droit (côté de la (sub)cophose), les erreurs sont plutôt effectuées du côté droit cette fois avec un écart d'environ 60° entre le haut-parleur réel et le haut-parleur énoncé par le sujet. Nous relevons une légère amélioration, uniquement sur certains angles, des performances à localiser la source lorsque le patient porte ses aides auditives. L'angle d'erreur est réduit notamment lorsque les haut-parleurs fonctionnels sont localisés à l'avant du côté (sub)cophotique (ici à droite). Par exemple, pour le haut-parleur positionné à un azimut de 45° à la droite du sujet, l'erreur de localisation est d'environ 45° vers la droite lorsque le patient ne porte pas son appareillage. Avec ses aides auditives, l'angle d'erreur est réduit à -22.5° (erreur d'un haut-parleur vers la gauche).

La courbe rouge correspond à l'erreur de localisation chez le patient (sub)cophotique gauche lorsqu'il ne porte pas ses appareils auditifs. A l'inverse, la courbe colorée verte modélise l'erreur de localisation lorsque le patient disposait de ses aides auditives. Le sujet présente des difficultés notoires lorsque le son est latéralisé du côté de la (sub)cophose (ici à gauche). L'erreur la plus remarquable est relevée lorsque la source sonore se situe entre -45.0° et -67.5° (à l'avant gauche). En effet, l'erreur est d'environ

-80.0° (vers la gauche), ce qui est élevé. Il s'agit de l'angulation pour laquelle nous notons, de façon marginale, une amélioration des capacités de localisation spatiale entre la situation oreilles nues et avec les aides auditives. Effectivement, l'erreur est d'environ -80.0° sans aides auditives alors qu'il est réduit à moins de 22.5° avec le port de l'appareillage. Statistiquement, le résultat du test Anova « *** » pour cette angulation précise de haut-parleurs de sortie (-45.0°), le prouve. Par définition, ce test est effectué pour montrer une différence entre deux variables. Précisément, ce graphique permet de mettre en avant la différence importante en termes de localisation spatiale lorsque le patient porte ses aides auditives et quand il ne les a pas. L'erreur de localisation est d'environ -80.0° sans aides auditives alors qu'il est réduit à moins de 22.5° avec le port de l'appareillage. Pour ce qui est de la localisation du côté droit, tout ce qui provenait de l'avant était plutôt perçu à l'arrière et inversement, ce qui émanait de l'arrière était souvent perçu à l'avant. Logiquement, la localisation est bonne lorsque la source sonore était diffusée face à l'oreille controlatérale à la (sub)cophose (ici à droite). Nous remarquons d'ailleurs que c'est du côté de la meilleure oreille que l'appareillage dégrade très légèrement les capacités de localisation spatiale alors qu'il les améliore du côté de la cophose.

Les erreurs de localisation sont plus importantes lorsque l'oreille gauche est (sub)cophotique bien que les difficultés soient également présentes lorsque c'est l'oreille droite qui est atteinte.

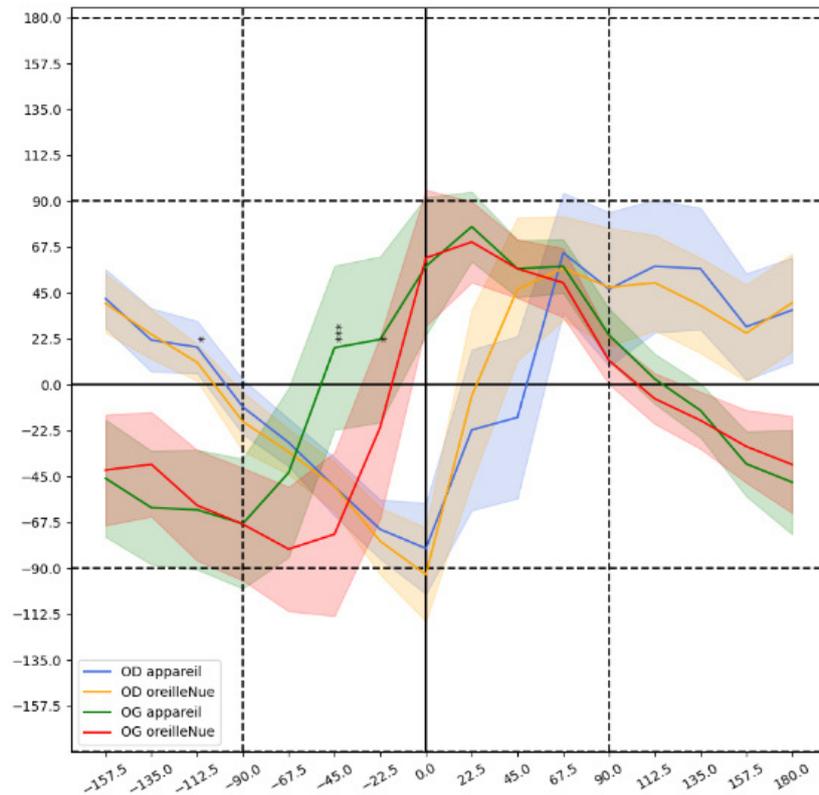


Figure 17- Représentation de l'erreur de localisation en distance chez les sujets (sub)cophotiques (bleue : (sub)cophose droite avec appareils, jaune : (sub)cophose droite oreilles nues, verte : (sub)cophose gauche avec appareils, rouge : (sub)cophose gauche oreilles nues)

L'ensemble des résultats du test statistique d'Anova avec deux facteurs de deux états, effectué angle par angle, a été regroupé dans le tableau ci-dessous (cf. Tableau 3). Ce choix a été fait afin de limiter le risque de réduction de variance en cas d'ajout du facteur angle. Sur les seize angles différents, quatorze présentent une valeur de p largement inférieure à 0.05. Cela s'explique par le fait que les sujets ont souvent répondu autour du même haut-parleur et on en déduit qu'au moins une des quatre courbes se distingue des autres.

Angle (en °)	p-value	F-value	Degré de significativité
0.0	$2.10 \cdot 10^{-16}$	221.6	***
22.5	$2.2 \cdot 10^{-10}$	43.371	***
45.0	$1.2 \cdot 10^{-3}$	10.702	**
67.5	$9.61 \cdot 10^{-1}$	0.002	
90.0	$8.06 \cdot 10^{-4}$	11.472	***
112.5	$1.38 \cdot 10^{-8}$	34.194	***
135.0	$1.98 \cdot 10^{-12}$	54.184	***
157.5	$1.64 \cdot 10^{-9}$	38.875	***
180.0	$2.38 \cdot 10^{-14}$	64.681	***
-157.5	$2.10 \cdot 10^{-16}$	103.957	***
-135.0	$2.10 \cdot 10^{-16}$	99.250	***
-112.5	$2.10 \cdot 10^{-16}$	96.477	***
-90.0	$4.88 \cdot 10^{-12}$	52.096	***
-67.5	$1.3 \cdot 10^{-5}$	19.690	***
-45.0	$5.1 \cdot 10^{-2}$	3.842	.
-22.5	$2.71 \cdot 10^{-12}$	53.465	***

Tableau 3- Résultats d'Anova par angle chez le groupe de malentendants

c) Localisation avec perte auditive simulée chez les normo-entendants

Dans le cas où l'oreille droite a été simulée comme présentant une perte auditive (cf. Figure 18), nous observons que la localisation du côté de l'oreille masquée est difficile. Effectivement, même si la plupart des sujets ont réussi à trouver le côté de la source sonore, il n'a pas été aisé d'énoncer le bon haut-parleur. Souvent, les réponses ont plutôt été données vers l'arrière. Les sujets ont même parfois identifié les haut-parleurs à l'arrière du côté gauche même si la source provenait de la droite.

Bien que l'oreille gauche fut nue, les capacités à localiser la source sonore ont été elles aussi impactées de ce même côté. Nous remarquons aisément que la localisation n'est plus aussi bonne que lors du test effectué avec les deux oreilles débouchées (figure 14). Bien sûr, lorsque le haut-parleur en fonctionnement était celui situé juste en face de la bonne oreille (ici la gauche) les erreurs ont été moins nombreuses.

Maintenant, lorsque l'oreille gauche était fermée et masquée (cf. Figure 19), la localisation a été complexifiée. Peu de sujets ont réussi à latéraliser la source sonore convenablement. Tous les sons qui provenaient du côté de la (sub)cophose simulée (gauche) ont majoritairement été entendus à l'arrière du côté droit (de 90.0° à 180.0°). Les réponses correctement latéralisées ont été très dispersées, et plutôt éloignées de la normale.

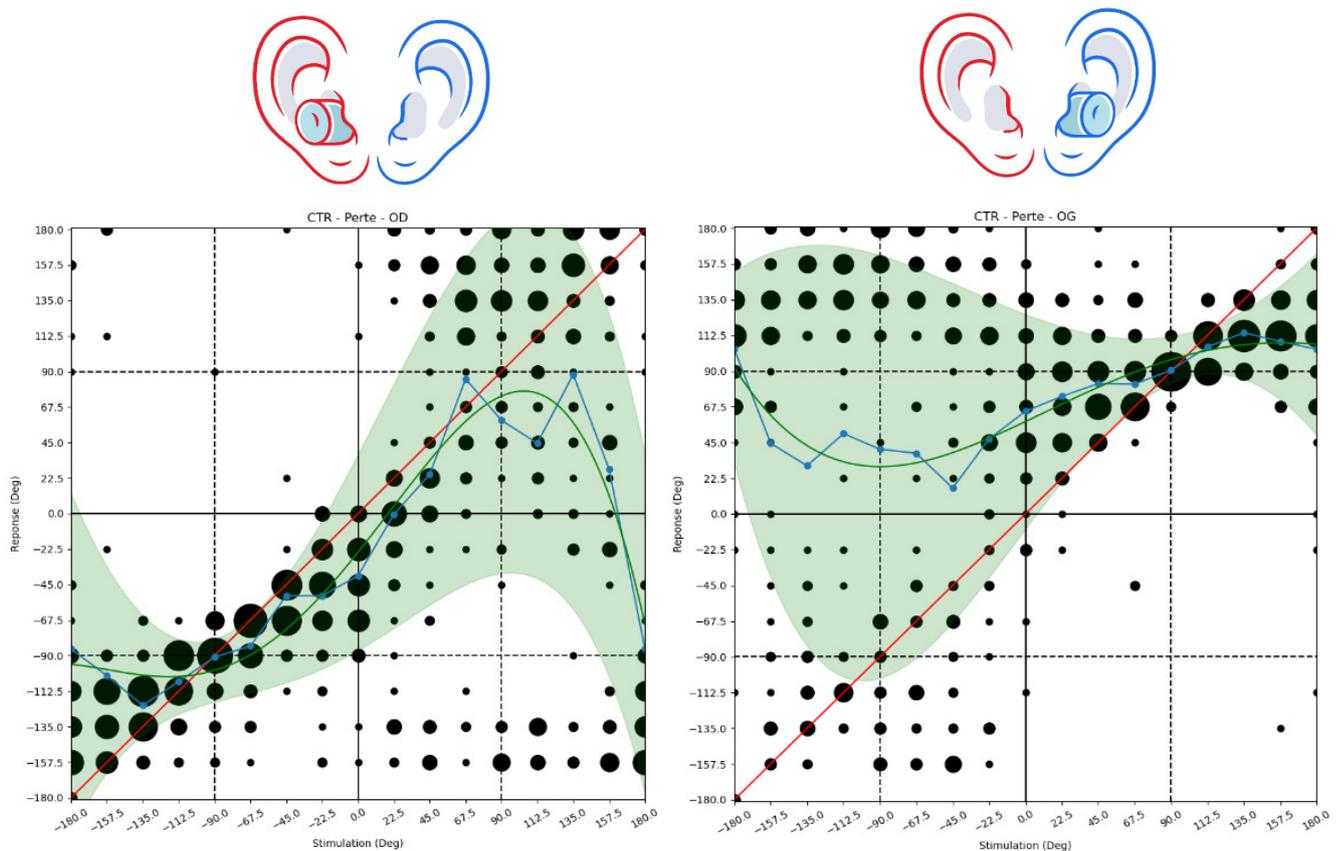


Figure 18- oreille droite simulée (sub)cophotique *Figure 19- oreille gauche simulée (sub)cophotique*

Notre groupe contrôle présente les mêmes difficultés de localisation spatiale que les sujets avec leurs (sub)cophoses. La différence de localisation est statistiquement significative entre la situation binaurale et la perte auditive (droite et gauche) simulée. Pour les données du RMSE, le test d'Anova, p vaut $1.64 \cdot 10^{-10}$ (**). On en déduit qu'il y a donc une grande différence de capacité de localisation lorsque le sujet bénéficie de

l'audition binaurale comparée à la localisation avec une oreille simulée malentendante. Toutefois, il n'y a pas de différence de localisation statistiquement prouvée entre oreille droite et gauche simulée (sub)cophotique ($p > 0.05$).

Lorsque les deux oreilles sont nues, nous constatons que les performances de localisation spatiale sont optimales. Pour rappel, le RMSE moyen est estimé à $9^\circ \pm 5,99^\circ$ ce qui est insignifiant. Toutefois, lorsque la perte auditive a été simulée soit sur l'oreille droite ou l'oreille gauche, le RMSE atteint $69^\circ \pm 15,1^\circ$ (cf. Figure 20).

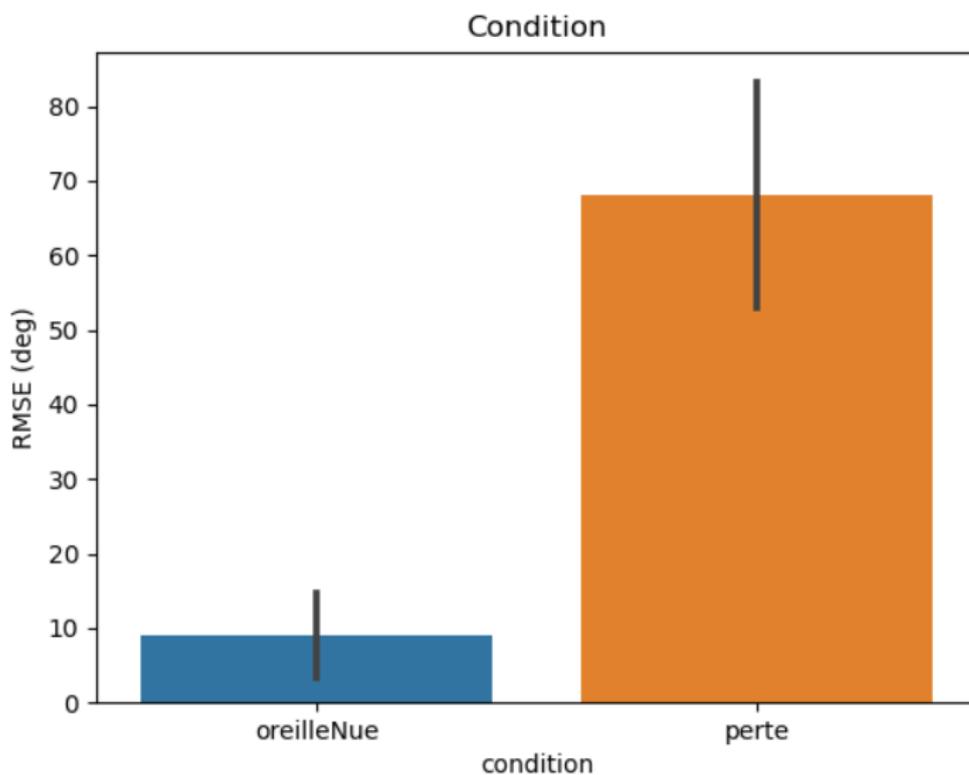


Figure 20 - Erreur quadratique moyenne exprimée en degrés en fonction de la condition pour le normo-entendant (oreilles nues ou perte auditive)

Le choix a été fait de séparer ma population de normo-entendants par côté de perte auditive (cf. Figure 21).

L'oreille gauche simulée comme ayant une perte auditive génère des difficultés majeures pour la localisation sonore par rapport à l'oreille droite. Précisément, l'erreur

quadratique moyenne passe de $62^{\circ} \pm 12,70^{\circ}$ lorsque c'est l'oreille droite qui est obstruée, à $75^{\circ} \pm 17,50^{\circ}$ quand c'est l'oreille gauche. Le normo-entendant est davantage pénalisé dans ses capacités à localiser les sources sonores quand son oreille gauche est simulée malentendante.

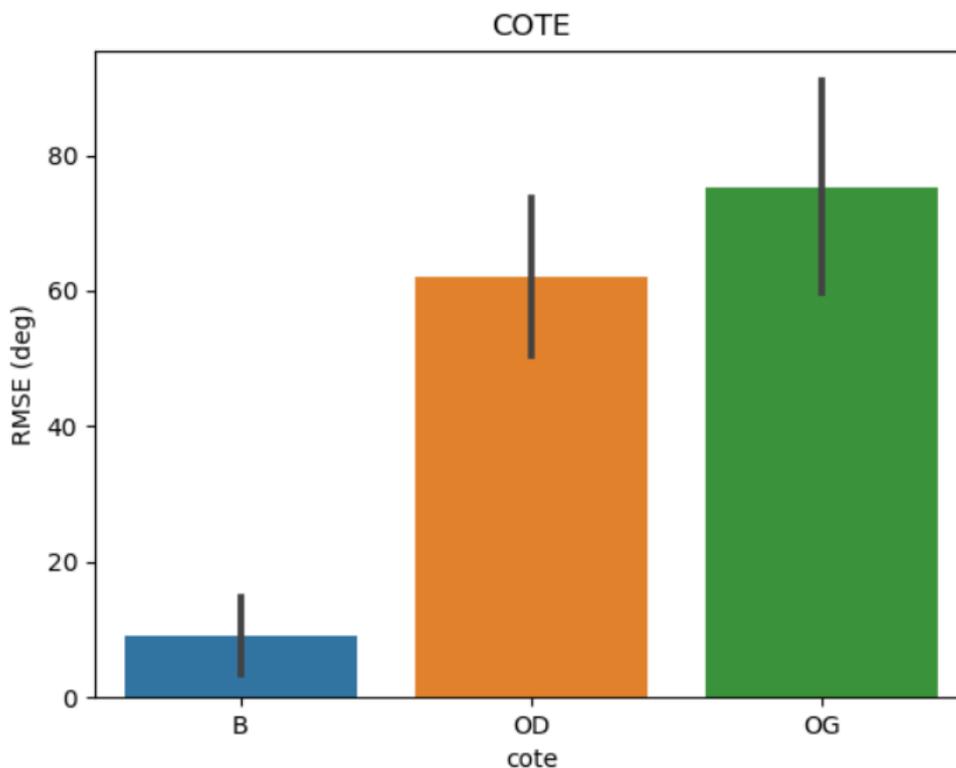


Figure 21- Erreur quadratique moyenne exprimée en degrés par rapport au côté de la surdité simulée chez le normo-entendant (B : situation binaurale, OD : oreille droite bouchée, OG : oreille gauche bouchée)

Les résultats obtenus ci-dessus attestent de la tendance à une meilleure localisation lorsque l'oreille droite est simulée (sub)cophotique, comme chez les malentendants (cf. Figure 16). Malgré la simulation de perte auditive, le groupe de normo-entendant obtient de meilleurs résultats de localisation comparativement au groupe des (sub)cophotiques.

Rationnellement, nous observons que l'erreur est infime lorsque le normo-entendant est en situation d'écoute binaurale (courbe bleue). L'écart angulaire entre deux haut-parleurs étant faible (22.5°), quelques erreurs ont été faites quand la source sonore provenait de l'arrière (cf. Figure 22).

Dans le cas où l'oreille droite a été masquée (courbe jaune), nous constatons des erreurs modérées lorsque le son provient de la gauche. L'écart, entre le haut-parleur véritable et le haut-parleur supposé être correct par le sujet, reste faible notamment lorsque le son provient de l'arrière. Toutefois, plus la source sonore se rapproche du zéro, plus cet écart angulaire augmente jusqu'à atteindre -40.0° environ quand la source sonore est le haut-parleur de référence (0.0°). Naturellement, cela se complique lorsque le son provient cette fois-ci du côté de l'oreille simulée comme présentant une perte auditive (droite dans ce cas). L'erreur est estimée à 45.0° environ pour les haut-parleurs situés entre 45.0° et 90.0° , ce qui est considérable. En revanche, lorsque le son provenait du haut-parleur à 135.0° , donc légèrement à l'arrière, les sujets ont tous réussi à localiser correctement le signal sonore. C'est pour cela que la courbe jaune vient s'accoler à la ligne horizontale du score parfait.

Lorsque l'oreille gauche était obstruée (courbe verte), la capacité à distinguer le bon haut-parleur s'est avérée bien plus difficile que lors de la situation précédente. Même la localisation du côté droit a été fortement impactée par le bouchon du côté opposé. Effectivement, nous observons sur la droite du graphique que la localisation était uniquement parfaite lorsque la source provenait précisément en face de la bonne oreille, soit à 90.0° . Quand le son venait de l'avant, il était davantage perçu vers l'arrière et inversement. Pour les extrémités avant-arrière, la confusion pouvait représenter jusqu'à 67.5° d'erreur. Estimer le haut-parleur de sortie quand celui-ci était localisé du côté de la (sub)cophose simulée (gauche) a été compliqué pour le sujet.

L'erreur la plus importante exprimée en degrés a été relevée lorsque le signal était envoyé sur les haut-parleurs compris entre -67.5° et -112.5° .

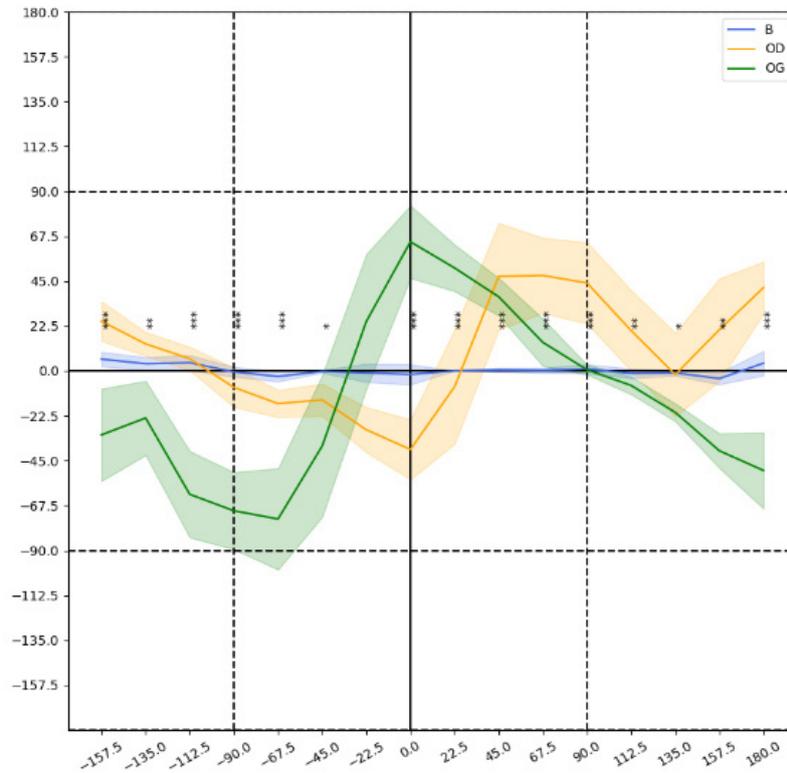


Figure 22- Représentation de l'erreur de localisation en distance pour le groupe contrôle (bleu : situation binaurale, jaune : simulation perte oreille droite, verte : simulation perte oreille gauche)

Tous les résultats statistiques ont été explicitement renseignés dans le tableau ci-dessous.

Angle (en °)	p-value	F-value	Degré de significativité
0.0	$1.68.10^{-13}$	35.14	***
22.5	$7.3.10^{-5}$	10.08	***
45.0	$7.66.10^{-4}$	7.485	***
67.5	$5.13.10^{-5}$	10.47	***
90.0	$1.58.10^{-6}$	14.46	***
112.5	$9.56.10^{-3}$	4.779	**
135.0	$4.92.10^{-2}$	3.066	*
157.5	$2.62.10^{-3}$	6.155	**
180.0	$5.49.10^{-14}$	36.7	***
-157.5	$1.9.10^{-6}$	14.25	***
-135.0	$1.77.10^{-3}$	6.579	**
-112.5	$3.37.10^{-9}$	21.93	***
-90.0	$1.51.10^{-10}$	25.8	***
-67.5	$7.67.10^{-13}$	33.02	***
-45.0	$1.57.10^{-2}$	4.258	*
-22.5	$1.42.10^{-1}$	1.973	

Tableau 4-Résultats Anova pour le groupe de normo-entendants

Comparativement, la localisation spatiale est plus difficile à appréhender pour les sujets qui présentent une cophose ou une (sub)cophose du côté gauche. Même si statistiquement il n'y a pas de différence notable entre la localisation chez le (sub)cophotique droit et le (sub)cophotique gauche, on note d'après les graphiques et les données de RMSE, que l'erreur s'est révélée être plus importante quand ce fut l'oreille gauche (sub)cophotique.

d) Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ-15)

Ensuite, nous comparons les réponses données au questionnaire SSQ-15 « pré-appareillage » avec celui « appareillé ». Comme pour le reste du mémoire, après avoir groupé les réponses sur un même histogramme pour la population générale, nous avons séparé le groupe de malentendants en deux, entre (sub)cophoses droites et gauches. Cela a permis de prendre connaissance des difficultés rencontrées par les patients présentant une surdité asymétrique avant la mise en place de leur

appareillage. Une amélioration est ressentie par les patients lorsqu'ils portent leurs aides auditives correctement ajustées.

Le questionnaire SSQ-15 est divisé en trois sous-catégories. Pour chaque question, une échelle de réponse variant de 0 à 10 est proposée au patient. Plus le score est faible plus la situation est difficile pour le malentendant. La première est « Audition de la parole », elle permet au malentendant d'évaluer ses difficultés quotidiennes quant à la compréhension de la parole dans différents environnements. La deuxième est nommée « Audition spatiale », elle fait apparaître les éventuelles difficultés rencontrées pour localiser correctement une source sonore. C'est donc la partie qui se réfère le plus à la thématique de localisation. Enfin, la dernière partie du questionnaire est appelée « Qualité d'audition », elle permet cette fois-ci de savoir si la perception des sons est claire et naturelle.

En général, les sujets ont un score plus important avec les aides auditives que sans. Effectivement, le score moyen est de 3,17 +/- 1,79 sans les appareils auditifs, et il est de 5,56 +/- 2,00 avec l'appareillage. Le ressenti des patients est donc meilleur avec leur appareillage. Cette différence est d'ailleurs statistiquement significative puisque $p < 0.05$ (cf. Figure 23). A présent, les différentes sous-parties du questionnaire ont été séparées.

- Pour la rubrique « Parole », nous observons sur le prochain diagramme en barres que la moyenne des réponses est de 2,77 +/- 1,63 dans la situation avant appareillage et il voit son score doublé puisque la moyenne est de 5,58 +/- 1,96 avec appareillage.
- Pour la catégorie « Spatiale », nous constatons une moyenne de 1,43 +/- 0,99 sans les aides auditives, et un score moyen de 3,71 +/- 2,38 avec l'appareillage. C'est précisément pour cette rubrique que le patient ressent une différence

flagrante entre la situation où il n'a pas ses aides auditives comparativement à la situation où il les porte. Effectivement, le score appareillé est deux fois et demie supérieur comparativement à la situation inverse.

- Enfin, la sous-partie « Qualité » est celle pour laquelle les sujets ont présenté le moins de difficultés. Le résultat moyen sans aides auditives est supérieur à la moyenne, en effet il est de 5,32 +/- 2,74 sans aides auditives et de 7,39 +/- 1,64 avec l'appareillage (cf. Figure 23).

Nous remarquons une différence significative d'après le t-test pour chacune des sous-parties du SSQ-15 entre oreilles nues (pré-appareillage) et avec les aides auditives. L'amélioration est encore plus manifeste pour les deux premières sous catégories de questionnaires « Parole » et « Spatiale ». Le score sur 10, moyenné et relevé avec les aides auditives a plus que doublé par rapport au score noté sans les appareils.

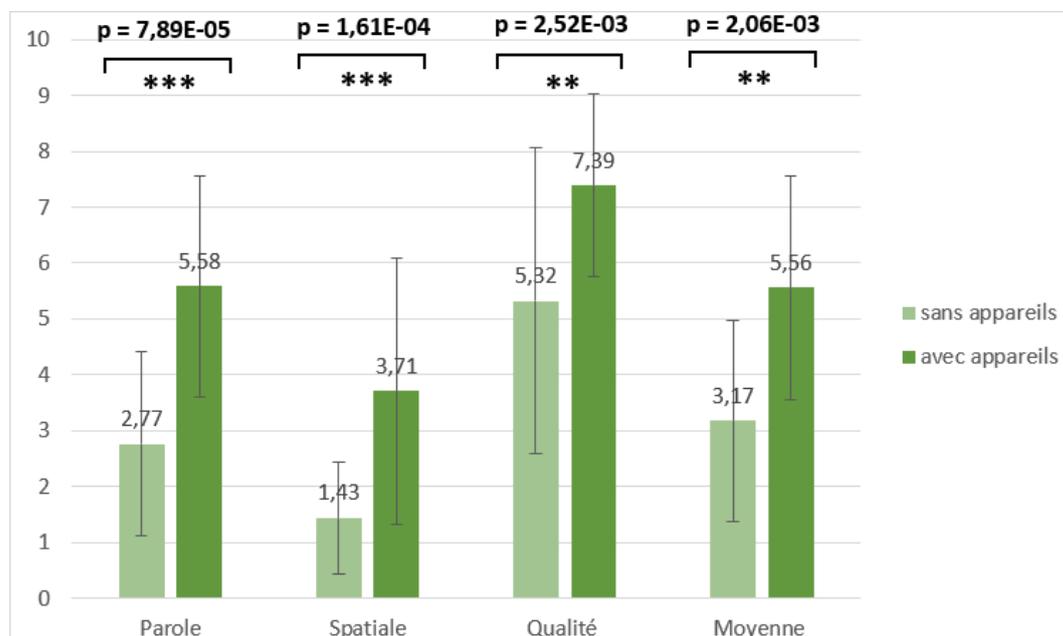


Figure 23-Scores moyens des différentes sous-catégories du questionnaire SSQ-15

Même principe que précédemment, une analyse des résultats a été réalisée par sous-population (cf. Figure 24). Aucune différence notable n'a été relevée par côté de

(sub)cophose sur les réponses données par les patients, et ce, que ce soit sans les aides auditives ou avec. La valeur de p au test statistique Anova est toujours supérieure à 0.05, le degré de significativité. Effectivement, les sujets atteints du côté droit et ceux (sub)cophotiques du côté gauche, ont rempli le questionnaire SSQ-15 de façon assez similaire, bien que la localisation spatiale semble plus difficile pour les sujets atteints du côté gauche.

- Pour la rubrique « Parole », et pour les (sub)cophoses droites la moyenne sans aides auditives est de $2,86 \pm 1,88$ et passe à $5,43 \pm 2,09$ quand il est rempli dans la situation avec l'appareillage. Pour ce qui est des (sub)cophoses gauches, le score moyen sans appareils auditifs est de $2,67 \pm 1,46$ et augmente à $5,74 \pm 1,95$ avec l'appareillage.

- Pour la rubrique « Spatiale », et pour les patients (sub)cophotiques à droite le score moyen est de $1,27 \pm 0,85$ sans l'appareillage, et atteint $3,84 \pm 2,70$ avec les aides auditives.

Pour ce qui est des subcophoses gauches, le score moyenné est de $1,60 \pm 1,14$ dans la situation où le sujet n'a pas ses aides auditives, pour atteindre ensuite la moyenne de $3,59 \pm 2,18$ avec les appareils auditifs.

- Pour la dernière partie « Qualité », et pour les sujets avec (sub)cophoses droites la moyenne sans aides auditives est de $5,24 \pm 2,34$ et passe à $7,64 \pm 1,63$ avec l'appareillage.

Pour les patients avec (sub)cophoses gauches, le score moyen est de $5,41 \pm 3,24$ sans les appareils auditifs, et de $7,13 \pm 1,69$ avec les aides auditives.

De façon plus générale, pour les (sub)cophoses droites le score moyen total est de $3,12 \pm 1,69$ oreilles nues et augmente avec le port de l'appareillage à $5,64 \pm 2,14$.

Pour les sujets présentant la (sub)cophose du côté gauche, la moyenne globale sans aides auditives est de 3,22 +/- 1,94 et augmente jusqu'à atteindre un score moyen de 5,48 +/- 1,94 avec les appareils auditifs (cf. Figure 24).

Statistiquement, nous notons bien une différence significative pour chaque sous-partie ainsi que pour le score global entre la situation « sans aides auditives » et « avec aides auditives ». La valeur de p-value est toujours inférieure au degré de significativité. Toutefois, il n'y pas de différence statistiquement notable entre les réponses fournies par les sujets avec (sub)cophoses droites comparées aux réponses données par les patients avec (sub)cophoses gauches.

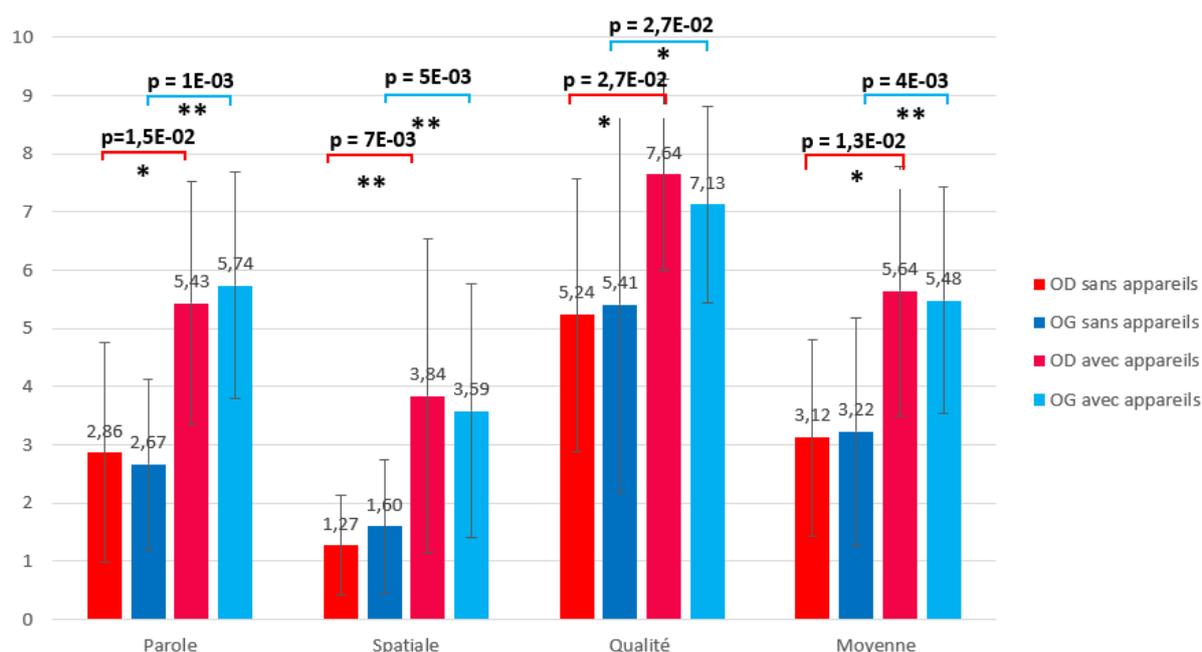


Figure 24- Scores moyens des différentes sous-catégories du questionnaire SSQ-15 par sous-population

e) Audiométrie vocale dans le bruit

A présent, et pour finir cette partie de résultats, nous nous sommes intéressés à la compréhension de la parole en environnement bruyant puisque c'est le deuxième

problème majeur rencontré par les sujets (sub)cophotiques. Le test effectué est le test de Léon Dodelé.

Cinq listes de logatomes (mots sans signification) ont été présentées à chacun des sujets, en débutant toujours par une liste d'entraînement. Chaque logatome est composé de la manière suivante « voyelle-consonne-voyelle », et l'unité d'erreur est le phonème. Le bruit appliqué est de type OVG (Onde Vocale Globale). Chaque erreur de phonème a été relevée dans l'objectif de trouver un résultat exprimé en pourcentage de compréhension. Le RSB est le Rapport Signal/Bruit et correspond à la différence d'intensité entre le bruit de fond et la parole. Par exemple, un RSB de +5 dB, signifie que la parole est 5 dB au-dessus de l'intensité du bruit de fond.

Une présentation des résultats sous forme de boîte à moustache permet de mieux visualiser la distribution des données dont vous trouverez l'explication figure 25.

- Le premier quartile aussi nommé quartile inférieur, représente la valeur pour laquelle 25% des données sont inférieures à celles-ci lorsqu'elles sont rangées par ordre croissant.
- Le deuxième quartile, synonyme de médiane représente la valeur qui sépare la moitié inférieure et la moitié supérieure des données rangées elles-aussi par ordre croissant.
- Le troisième quartile, aussi appelé quartile supérieur, exprime la valeur pour laquelle 75% des données en sont inférieures.

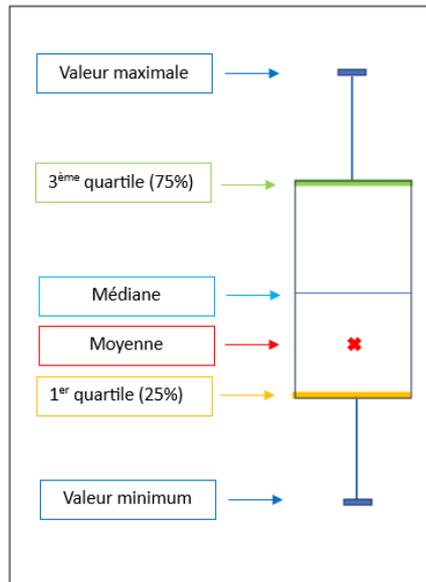


Figure 25- Schématisation d'un graphique "boîte à moustache" par Marie-Charlotte Rochette

Volontairement, le RSB -10 dB n'apparaît pas sur la figure ci-dessous puisque les résultats ont été de 0% quelle que soit la situation (sans et avec aides auditives).

Pour le RSB -5 dB, il n'y a pas de différence statistiquement notable entre la situation « sans appareils » et « avec appareils » puisque $p > 0.05$.

Toutefois, à partir du RSB 0 dB (parole et bruit à même intensité), nous visualisons sur le graphique une amélioration significative de la compréhension en environnement bruyant par le biais des aides auditives en fonctionnement. Chacune des valeurs de p-value est inférieure à 0.05 d'après le t-test.

Pour les RSB 0 dB, RSB +5 dB et RSB +10 dB, le pourcentage de compréhension dans le bruit est amélioré d'environ 16.5% avec l'appareillage (cf. Figure 26).

- Pour le rapport signal/bruit -5 dB (bruit > parole), le taux de compréhension moyen est de 20,7% +/- 24,4% sans l'appareillage, et celui-ci s'élève à 23,0% +/- 28,6% avec les aides auditives.

- Pour le rapport signal/bruit 0 dB (bruit=parole), la compréhension moyenne est de 54,1% +/- 23,3% oreilles nues et passe à 72,4% +/- 14,0% grâce à l'appareillage.
- Pour le rapport signal/bruit +5 dB (parole>bruit), sans aides auditives la compréhension est de 71,0% +/- 21,2%, et augmente jusqu'à 86,6% +/- 6,8% en moyenne par le port des aides auditives.
- Pour le rapport signal/bruit +10 dB (parole>>bruit), la compréhension même sans appareils auditifs est plutôt bonne. En moyenne, 75,8% +/- 18,8% des mots sont correctement répétés, et grâce à l'appareillage on atteint une moyenne de 91,6% +/- 6,8%.

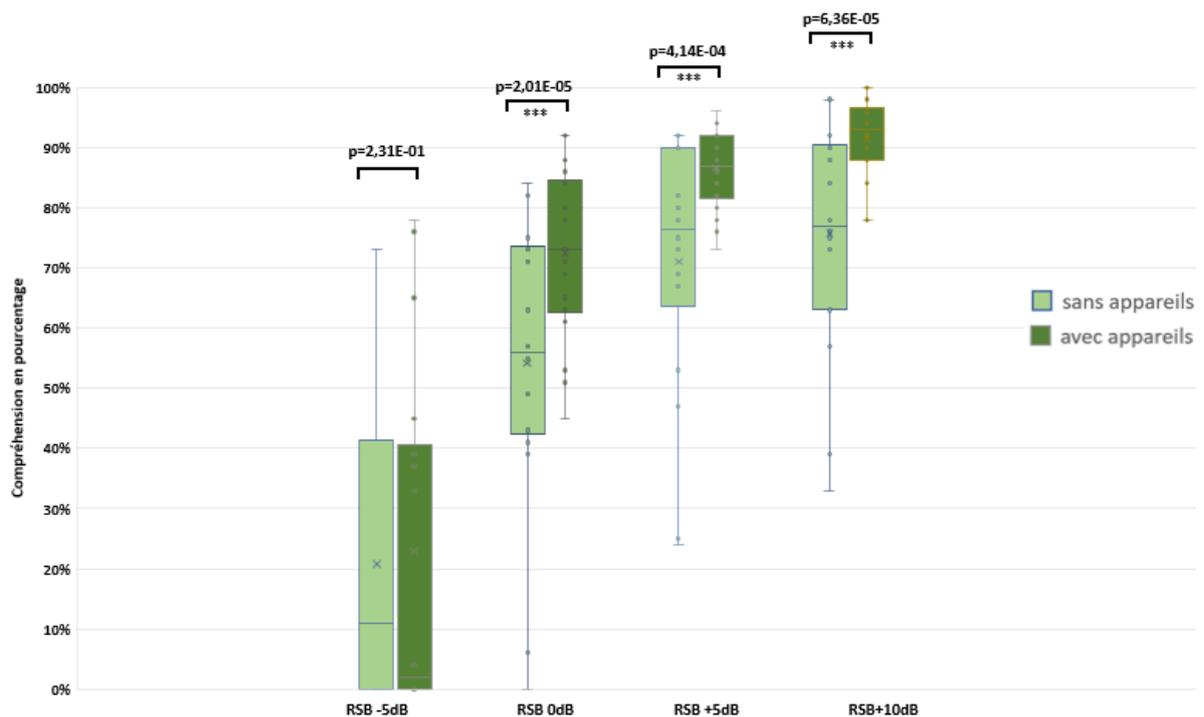


Figure 26-Audiométrie vocale dans le bruit selon les différents rapports signal/bruit

Comme pour les résultats au questionnaire SSQ-15, il n'y a pas de différence par rapport au côté de la (sub)cophose sur les capacités à comprendre la parole en

environnement bruyant (cf. Figure 27). Les difficultés semblent être similaires pour les deux groupes.

(sub)cophoses droites :

- Pour le rapport signal/bruit -5 dB, la moyenne de compréhension vocale s'élève à 23,9% +/- 27,3% sans aides auditives. Avec appareillage, le score moyen s'élève à 33% +/- 34,3%.
- Pour le rapport signal/bruit 0 dB, le taux de réussite moyen est de 53,9% +/- 22,1% sans l'appareillage. Ce score augmente grâce aux aides auditives et s'élève à 73,4% +/- 15,6%.
- Pour le rapport signal/bruit +5 dB, la compréhension moyenne sans les aides auditives est de 71,6% +/- 22,0% alors qu'elle s'élève à 86,3% +/- 7,3% avec l'appareillage.
- Pour le rapport signal/bruit +10 dB, la compréhension moyenne est de 75,1% +/- 20,2% oreilles nues. Une amélioration est permise par l'appareillage, et cette fois-ci le taux de compréhension est de 90,4% +/- 7,9%.

(sub)cophoses gauches :

- Pour le rapport signal/bruit -5 dB, le taux de compréhension moyen s'élève à 17,6% +/- 22,2% sans les aides auditives. Une dégradation des capacités de compréhension avec l'appareillage a été relevée pour ce rapport signal/bruit. Effectivement le score de compréhension réduit lorsque le sujet porte ses appareils auditifs, on trouve une compréhension moyenne de 13,0% +/- 18,6%.
- Pour le rapport signal/bruit 0 dB, la compréhension moyenne est de 54,3% +/- 25,7% sans les aides auditives, et elle atteint 71,4% +/- 13,2% de réussite grâce à l'appareillage.

- Pour le rapport signal/bruit +5 dB, la moyenne de compréhension vocale est de 70,4% +/- 21,7% oreilles nues, et passe à 86,9% +/- 6,6% avec les aides auditives.
- Pour le rapport signal/bruit +10 dB, le taux de réussite moyen est de 76,6 +/- 18,4% sans l'appareillage, et atteint 92,6% +/- 5,7% avec les appareils auditifs.

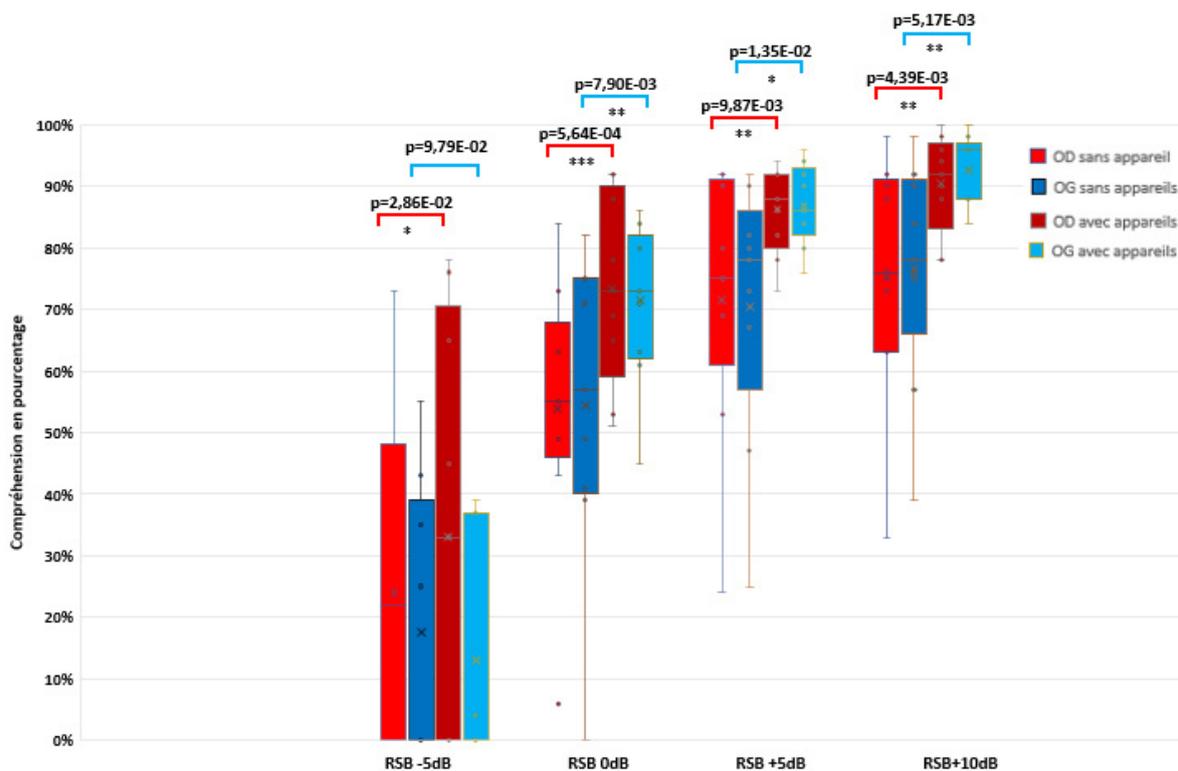


Figure 27- Audiométrie vocale dans le bruit selon les différents rapports signal/bruit par sous- population

3- Discussion

Les résultats obtenus au test de localisation font apparaître plus d'erreurs lorsque l'oreille gauche est subcophotique. L'appareillage n'améliore pas les capacités de localisation et semble même les dégrader, alors que le score SSQ-15 'post appareillage' est meilleur notamment pour la rubrique 'Audition spatiale'. Nous notons également une amélioration de la compréhension dans le bruit permise par

l'appareillage. Pour autant, les différents résultats relatifs à l'effet du côté (sub)cophotique, ne s'avèrent pas statistiquement significatifs.

a) Normo-entendants

Le normo-entendant parvient à localiser correctement les sources sonores, il ne présente pas de difficultés particulières. Cela rejoint les résultats de l'étude menée par Irving et Moore en 2011 pour laquelle un groupe de 12 normo-entendants a réalisé un test de localisation sur 24 haut-parleurs avec un bruit rose. Bien que le signal utilisé ne soit pas le même, puisque pour notre étude nous avons opté pour un bruit de parole. Nous retrouvons les mêmes résultats quant aux performances de localisation spatiale chez le normo-entendant avec ses deux oreilles nues. Cela nous a donc permis à la fois de valider la fiabilité de l'outil de localisation spatiale, mais aussi d'effectuer une comparaison avec le groupe de malentendants grâce à la simulation de perte auditive. L'étude proposée par Agterberg et al. en 2014 montre cette même réussite en termes de localisation chez le sujet ne présentant pas de perte auditive.

b) (Sub)cophotiques

Nos résultats montrent que les patients présentant une perte auditive unilatérale de type (sub)cophose ont bien plus de difficultés à localiser la source sonore. Cela corrobore les résultats de Liu. et al. parus en 2018, qui ont également montré que la localisation sonore était une fonction difficile à appréhender pour les sujets présentant une SSD (Single Sided Deafness).

Dans le cadre de leur étude, les erreurs de localisation ont été évaluées à l'aide du RMSE. Celle-ci montre que le sujet atteint de SSD présente un RMSE nettement supérieur par rapport au groupe de normo-entendants. Quantitativement, le RMSE est

de 16° environ pour le groupe de sujets ne présentant pas de perte auditive, alors qu'il s'élevait à plus de 44° pour le groupe de patients (sub)cophotiques. Dans le cas de notre étude, le RMSE pour le groupe de normo-entendants est de 9° alors que pour le groupe de (sub)cophotiques, la valeur s'élève à 87°. En effet, le fait de ne posséder qu'une seule oreille fonctionnelle dégrade significativement les capacités à localiser la source sonore.

Lors de cette même étude de 2018, Liu. et al., ont eu l'ingéniosité de séparer les sujets (sub)cophotiques en fonction de la présence ou non d'acouphènes. Cela a permis de mettre en avant une différence significative quant aux capacités de localisation spatiale entre les deux groupes. Effectivement, les sujets acouphéniques présentent plus de difficultés à localiser la source sonore comparés à ceux qui n'en souffrent pas.

Notre recherche fait apparaître que 72% des sujets (sub)cophotiques présentaient des acouphènes de type sifflements qui prédominaient du côté de la (sub)cophose. Le nombre de patients acouphéniques est équivalent dans les deux groupes de patients subcophotiques. Concrètement, 6 patients de chaque groupe de 9 individus présentaient un acouphène. Il est donc probable que ces sujets aient notamment été gênés en termes de localisation spatiale du fait de leurs acouphènes. Nous aurions pu optimiser la comparaison entre les acouphéniques et non-acouphéniques si notre cohorte eut été plus représentative.

L'étude de Liu et al. a également mis en avant une différence de localisation en fonction de la durée de privation de l'oreille (sub)cophotique. Leur population fut séparée en deux groupes distincts, ceux qui présentaient la surdité depuis moins d'un an et ceux qui en souffrent depuis plus de deux ans. Leurs résultats mettent en avant une difficulté majorée lorsque la surdité est récente. Le RMSE moyen est de 56° pour la population avec (sub)cophose récente, alors que pour le groupe avec perte auditive plus ancienne

(>2 ans) le RMSE moyen est réduit à 38°. Ils notent bien une différence significative entre les deux puisque $p=0.009$. Nous retenons de cette étude que les capacités de localisation s'améliorent avec le temps de privation auditive. Le sujet est capable de réapprendre à localiser avec une surdité unilatérale.

Concernant notre étude, les sujets présentaient tous une surdité ancienne d'une durée moyenne de 338 +/- 250 mois. La variabilité est importante, toutefois le sujet présentant la plus récente surdité, remontait à 7 ans. Nous supposons qu'ils ont tiré avantage de leur adaptation au fil du temps, en utilisant d'autres indices pour localiser la source sonore, c'est ce qu'on nomme la plasticité cérébrale. Cela peut en effet provenir du traitement auditif central (Chang et al. 2016), mais aussi s'expliquer par la réduction de la gravité de l'acouphène via la réhabilitation auditive. Pour cela, le patient doit bénéficier d'une stimulation acoustique du côté de la subcophose (stimulation acoustique avec programme StéréoBiCROS ou stimulation électrique par implant cochléaire). C'est ce que l'on retrouve dans l'étude de Simonetti et al. en 2022. Celle-ci a pris en compte 19 sujets profitant d'aides auditives dans l'objectif de palier leur perte auditive et la perception de leur acouphène. Ils ont utilisé divers questionnaires tels que l'Échelle Visuelle Analogique (EVA), le Hearing Handicap Inventory for Adults (HHIA) et le Tinnitus Handicap Inventory (THI). D'après leur expérimentation, il en ressort une différence statistiquement significative pour les 3 questionnaires. Le score de l'échelle visuelle analogique passe de 8.4 +/- 1.28 à 4.5 +/- 2.4 à 6 mois d'appareillage ($p<0.001$). De même, le handicap est grandement réduit puisque le score HHIA sans appareillage est de 54.9 +/- 27 et il est de 26.7 +/- 23.4 avec les aides auditives ($p<0.005$). Enfin, la perception de l'acouphène est moindre, puisque le score THI passe de 56.9 +/- 15.5 à 30.5 +/- 20.8 grâce à l'appareillage ($p<0.001$). La même

année, Lee et al. ont réalisé une étude similaire qui montre de la même façon que la réhabilitation auditive soulage les acouphènes.

Si le sujet est moins perturbé par son acouphène, il est logique que les performances de localisation spatiale soient moins altérées.

c) Effet du côté groupe (sub)cophotiques

Notre population de malentendants a été séparée par côté de (sub)cophose dans l'objectif de montrer un éventuel effet du côté sur la localisation sonore. D'après les données d'Agterberg et al. en 2018 ainsi que celles de Messieurs Gallego et Potier, un sujet qui présenterait une perte auditive à droite avec une bonne oreille gauche parviendrait mieux à localiser les sources sonores que lors de la situation inverse. Toutefois, il a été difficile de trouver dans la littérature des sujets traitants de localisation spatiale avec des groupes séparés par côté de perte unilatérale. Cela s'explique par la difficulté à recruter ce profil de perte auditive, d'où des cohortes réduites. De surcroît, certains patients ne parviennent pas à réaliser l'ensemble des tests de localisation au regard de leur fatigabilité. De ce fait, la plupart des études regroupe l'ensemble des patients subcophotiques afin d'obtenir des résultats plus significatifs.

d) Efficacité de l'appareillage CROS

Des tests de localisation spatiale ont été réalisés sans l'appareillage CROS et avec, afin de voir l'éventuel bénéfice apporté par le système sur les capacités de localisation spatiale. Les résultats montrent que l'appareillage auditif n'améliore pas les capacités de localisation spatiale, bien que le SSQ-15 s'avère être nettement meilleur en post-appareillage. Effectivement, le système CROS renforce les déséquilibres intérraux, ce qui dégrade parfois la localisation spatiale sur le côté controlatéral de la

(sub)cophose. Cela est en concordance avec les études de Pedley et al., en 2017 ainsi que celle présentée par Kitterick et al., en 2016. Toutes deux, affirment que l'appareillage sur une surdité unilatérale de type cophose que ce soit en CROS aérien ou osseux, ne permet pas une amélioration significative de la localisation spatiale.

Aussi, Agterberg et al., en 2018 ont travaillé sur l'erreur moyenne absolue (MEA : Mean Absolute Error) avec un système à ancrage osseux allumé et éteint. Pour les malentendants gauches, le MEA est de 38.66° lorsque l'appareil est éteint, et il augmente pour frôler les 41° lorsque l'appareillage est allumé. De même, pour le côté droit puisque le MEA est de 31.57° lorsque l'appareil auditif est éteint et qu'il est de 40° lorsque celui-ci est en fonctionnement. La différence est encore plus marquée de ce côté. Cela rejoint les résultats que nous avons obtenu, puisque l'appareillage améliore très légèrement les capacités à localiser le son pour les (sub)cophoses gauches alors que pour le côté inverse, nous notons une dégradation de cette fonction.

Saroul et al., en 2012 ont proposé une évaluation différente des capacités de localisation spatiale avant l'appareillage CROS osseux et après. Un bruit blanc à 55 dB SPL a été utilisé, et le patient avait le choix entre 5 haut-parleurs. Un calcul a été effectué par points (1 point pour 45° d'erreur) et on obtient donc un score SLHI (Sound Localization Handicap Index). Le test de localisation spatiale a été réalisé avant la chirurgie pour l'implant à ancrage osseux et après. Les résultats montrent aussi une dégradation des performances une fois l'appareillage installé et fonctionnel. Le score qui était de 6.54 ± 2.6 avant la chirurgie est passé à 7.54 ± 3.4 après la chirurgie, mais reste néanmoins non significatif ($p > 0.05$).

D'après l'étude de Kitterick et al. de 2016, l'unique appareillage permettant une amélioration des capacités de localisation spatiale est l'implant cochléaire du fait de la stéréophonie retrouvée. Cela s'explique par le fait de venir stimuler l'oreille interne du

côté de cette perte auditive neurosensorielle sévère à profonde, sans perturber l'oreille controlatérale par renvoi d'informations.

e) Simulation de perte auditive chez le normo-entendant

Enfin, nous avons simulé une perte auditive chez le normo-entendant pour valider le système et vérifier que les résultats obtenus concordent avec ceux trouvés pour le groupe de (sub)cophotiques. De façon aléatoire, ce fut soit l'oreille droite soit l'oreille gauche bouchée et masquée. Bien que non significatifs, les résultats finaux montrent que la localisation spatiale a été plus difficile pour le groupe avec l'oreille gauche bouchée. Cela confirme les résultats précédemment démontrés pour le groupe de malentendants.

Néanmoins deux études menées ont rendus des résultats inverses. C'est le cas dans l'exploration de Gustafson., et Hamill., en 1995. Une perte auditive de transmission a bien été simulée chez des normo-entendants à l'aide d'un bouchon d'oreille. Cependant, ils n'ont pas précisé si les sujets étaient droitiers contrairement à notre étude. Ils ont opté pour un son pur à 3 kHz, alors que nous avons utilisé un signal de parole plus conforme à la réalité sonore. Selon eux, les sujets qui ont eu l'oreille droite obstruée ont présenté des difficultés plus importantes pour ce qui est de la localisation spatiale par rapport aux personnes ayant eu l'oreille gauche bouchée. Le RMSE moyen est de 58° quand l'oreille gauche est fermée alors qu'il s'élève à 64° lorsque l'oreille droite est obstruée. Cette différence s'avère statistiquement significative puisque $p < 0.009$. De même, l'analyse de Parisa et al., en 2018 met en avant une complexité plus importante à localiser le son lorsque c'est l'oreille droite qui a été bouchée. Comme dans le cas précédent, un bouchon d'oreille a été utilisé. Le signal sonore est différent, puisque cette fois-ci c'est un bruit à bande étroite qui a été envoyé

à une intensité de 35 dB SPL. Aussi, les fréquences ont varié, et ont permis de mettre en avant une différence plus apparente en termes de localisation spatiale lorsque le signal était aigu (4-6 kHz).

Cela est contradictoire avec les résultats que nous avons obtenus puisque ces deux études montrent une meilleure localisation avec l'oreille gauche bouchée. Toutefois, nous pourrions l'expliquer par la différence de signal utilisé, éventuellement la latéralité manuelle puisque non précisée, ainsi que la puissance statistique qui n'est pas la même. Effectivement, ici ce sont 30 sujets normo-entendants qui ont été testés contre 11 dans notre cas.

f) [Audiométrie vocale dans le bruit](#)

L'étude de Choi et al. en 2019, met en avant une différence significative quant aux capacités de discrimination vocale en environnement bruyant permise par l'appareillage. La population était constituée de 21 patients atteints de surdité neurosensorielle unilatérale. Ils ont choisi une stimulation de phrases avec un bruit blanc alors que nous avons réalisé le test d'audiométrie vocale dans le bruit à l'aide des logatomes de Dodelé avec un bruit OVG. L'amélioration qu'ils ont montrée est permise par l'appareillage CROS/BiCROS, ou l'appareillage en conduction osseuse, BAHA. Les résultats de nos tests de compréhension en environnement bruyant montrent aussi une différence significative entre la situation oreilles nues et appareillées.

g) [Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale](#)

L'étude de Hol et al. en 2010 montre une amélioration du score SSQ-15 sur un groupe de 10 sujets présentant une surdité unilatérale, grâce à l'appareillage. En effet, ils obtiennent un score moyen de 3.7 dans la situation oreilles nues, qui augmente à 5.0

avec la réhabilitation par système CROS aérien et à 4.8 lors d'une stimulation par CROS osseux. Dans le cas de notre expérimentation, nous constatons également une amélioration du score SSQ-15 moyen, qui est de 3.17 sans l'appareillage et 5.56 avec.

h) Limites

- La durée du stage a réduit de fait l'échantillon.
- Nous pouvons supposer que la simulation de perte auditive chez le normo-entendant n'a pas été suffisante pour simuler une (sub)cophose unilatérale comme pour le groupe de malentendants. Il eut été possible d'utiliser un casque par-dessus l'insert masquant l'oreille chez le normo-entendant, toutefois il n'a volontairement pas été appliqué de peur que la diffraction du casque crée une distorsion.
- Rationnellement, l'âge moyen du groupe contrôle était de 33.27 +/- 12.74 ans alors que pour le groupe de malentendants la moyenne d'âge était de 66.22 +/- 11.4 ans. Nous pourrions présumer une facilité à localiser les sons pour le groupe contrôle du fait de leur dynamisme. En effet, l'étude de Freigang et al. en 2015 tend à montrer une détérioration des capacités à localiser le son chez les personnes âgées.
- Les normo-entendants pour lesquels une oreille a été simulée malentendante uniquement sur la durée du test ont pu rencontrer des difficultés majorées en termes de localisation spatiale par rapport au groupe de subcophotiques puisque la durée de privation génère une adaptation.
- Les acouphènes ont également pu biaiser les réponses notamment si perçues plus fort du côté gauche. Toutefois, nous avons simplement relevé la présence ou non d'acouphènes et sa localisation. Le questionnaire THI (Tinnitus

Handicap Inventory) aurait pu mesurer le score obtenu par chaque sujet et permettre de vérifier que la gêne provoquée par les acouphènes était similaire entre les deux groupes.

i) Perspectives

L'étude confirme que la question de la localisation prend tout son sens à travers l'appareillage audioprothétique. En effet, des différences apparaissent au niveau des résultats entre les (sub)cophoses droites et gauches, bien qu'elles ne soient pas statistiquement significatives. Aussi, le souhait de voir améliorer les performances de localisation des patients incite à vouloir différencier la prise en charge des (sub)cophotiques droits et gauches si plus d'études concordaient avec nos résultats.

Une adaptation du réglage pourrait être envisageable, de même que certains exercices d'entraînement à la localisation pourraient être conseillés. Précisément, il serait intéressant de personnaliser le réglage en fonction du côté de (sub)cophose puisque la gêne initiale est différente. Nous pourrions ajuster le renvoi du CROS, mais aussi utiliser des algorithmes de traitement du signal différents en fonction de la latéralité de la (sub)cophose.

Ces préconisations mériteraient une étude complémentaire auprès d'une cohorte de gauchers afin de comparer les résultats selon la latéralité manuelle. Ainsi, l'étude de Ocklenburg et al. en 2009 fait apparaître une différence de localisation entre les sujets droitiers et les gauchers.

IV- Conclusion

Au terme de cette étude, une différence, bien que statistiquement non significative, apparaît quant aux performances de localisation spatiale en fonction du côté de la (sub)cophose. Quand la perte est latéralisée à gauche il est nettement plus difficile

pour le sujet de discerner avec précision la provenance du signal sonore, alors qu'inversement la capacité de localisation reste meilleure en cas de (sub)cophose droite et ce chez des sujets droitiers.

Une interrogation naît du fait de l'antagonisme qui existe entre le ressenti d'amélioration de la localisation par le patient et les résultats. En effet, le score de la partie « audition spatiale » du SSQ-15 est meilleur avec l'appareillage alors que les résultats du RMSE mettent en avant une dégradation légère des performances avec les aides auditives.

Pour autant, le caractère multifactoriel du processus de localisation mériterait une étude plus large et plus poussée, à la fois, par élargissement de la cohorte et par une exploration pluridisciplinaire au moyen d'investigations au niveau cérébral.

Néanmoins, une meilleure prise en compte de la question de la localisation, chez les audioprothésistes se défend d'autant qu'ils restent nombreux à ne pas être équipés d'un système adapté. Une innovation récente, « Hearing Space », proposée par Messieurs Barruet et Bendavid en 2019, permet d'effectuer un test de localisation spatiale virtuel à l'aide d'un casque visuel. Cet outil évite un investissement coûteux dans un système de localisation avec un nombre important de haut-parleurs. Il est également plus facile d'utilisation, peut-être un peu moins précis notamment pour les malentendants appareillés étant donné que la stimulation sonore n'est pas vraiment en champ libre. Dans la lignée de la localisation virtuelle, en avril 2023, le projet Xenylab initié par Messieurs Rembaud, Defrance et Potier voit le jour. L'utilisation d'un masque de réalité virtuelle, d'un casque et de manettes plonge le patient dans un décor, permettant à la fois une audiométrie tonale, une audiométrie vocale et un test de localisation spatiale (IGLS : Indice de Gêne de Localisation Sonore).

Parallèlement, il apparaît logique de proposer aux fabricants d'améliorer la captation microphonique adaptative, nécessaire à la fois pour la localisation spatiale mais aussi la compréhension en environnement bruyant.

Il serait également judicieux d'adapter la prise en charge audioprothétique en fonction du côté de la (sub)cophose. Nous pourrions conseiller des exercices d'entraînement pour tous les sujets et particulièrement ceux touchés du côté gauche. En effet, il a été montré par Firszt et al., en 2015 qu'une amélioration de localisation était permise par un entraînement auditif.

Aussi, il serait envisageable de réduire le renvoi du CROS pour éviter de trop perturber la bonne oreille. Enfin, un réglage adapté pourrait permettre une amélioration des capacités à localiser la source sonore sans pour autant dégrader la compréhension de la parole.

Personnellement, je compte mettre en application ces préconisations dans le cadre de ma pratique professionnelle future, tant mon intérêt, ma motivation et mon investissement se sont avérés considérables.

V- Bibliographie

- Agterberg MJH, Hol MK, Van Wanrooij MM, Van Opstal AJ, Snik AF. “Single-sided deafness and directional hearing: contribution of spectral cues and high-frequency hearing loss in the hearing ear.” *Front Neurosci.* 2014 Jul 4;8:188. doi: 10.3389/fnins.2014.00188. PMID: 25071433; PMCID: PMC4082092.
- Agterberg MJH, Snik AFM, Van de Goor RMG, Hol MKS, Van Opstal AJ. “Sound-localization performance of patients with single-sided deafness is not improved when listening with a bone-conduction device.” *Hear Res.* 2019 Feb;372:62-68. doi: 10.1016/j.heares.2018.04.007. Epub 2018 Apr 19. PMID: 29703651; PMCID: PMC6298584.
- Alzaher M, Strelnikov K, Marx M, Barone P. “Brain plasticity and auditory spatial adaptation in patients with unilateral hearing loss.” *Cereb Cortex.* 2023 May 24;33(11):7221-7236. doi: 10.1093/cercor/bhad033. Erratum in: *Cereb Cortex.* 2023 Apr 25;33(9):5760. PMID: 36806394.
- Asano F, Suzuki Y, Sone T. “Role of spectral cues in median plane localization.” *J Acoust Soc Am.* 1990 Jul;88(1):159-68. doi: 10.1121/1.399963. PMID: 2380444.
- Ausili SA, Snapp HA. “Contralateral Routing of Signal Disrupts Monaural Sound Localization”. *Audiol Res.* 2023 Aug 3;13(4):586-599. doi: 10.3390/audiolres13040051. PMID: 37622927; PMCID: PMC10451350.
- Belmin J et al. “The cognitive disorders examination (Codex) is a reliable 3-minute test for detection of dementia in the elderly (validation study on 323 subjects)”. *Presse Med.* 2007 Sep;36(9 Pt 1):1183-90. doi: 10.1016/j.lpm.2007.03.016. Epub 2007 Apr 12. PMID: 17433613.

- Bonne NX, Hanson JN, Gauvrit F, Risoud M, Vincent C. “Long-term evaluation of sound localisation in single-sided deaf adults fitted with a BAHA device.” *Clin Otolaryngol.* 2019 Nov;44(6):898-904. doi: 10.1111/coa.13381. Epub 2019 Oct 8. PMID: 31134749.
- Cahiers de l’Audition, N°3, Vol 20. Mai-Juin 2017 – pages 54 à 57.
- Choi JE, Ma SM, Park H, Cho YS, Hong SH, Moon IJ. “A comparison between wireless CROS/BiCROS and soft-band BAHA for patients with unilateral hearing loss”. *PLoS One.* 2019 Feb 21;14(2):e0212503. doi: 10.1371/journal.pone.0212503. PMID: 30789931; PMCID: PMC6383877.
- Claverie C. “Entraînement à la localisation spatiale chez le sujet presbycousique appareillé”, Oct 2021.
- Fedderson WE., Sandel TT., Teas D.C, Jeffress L.A. “Localization of high-frequency tones”, *The journal of the Acoustical Society of America*, 2005 June 29.
- Ferschneider M. et al., “Utilisation du Questionnaire d’habiletés auditives “Parole, audition spatiale, et qualité d’audition” (SSQ) en audioprothèse”, 2022.
- Finbow J, Bance M, Aiken S, Gulliver M, Verge J, Caissie R. “A Comparison Between Wireless CROS and Bone-anchored Hearing Devices for Single-sided Deafness: A Pilot Study.” *Otol Neurotol.* 2015 Jun;36(5):819-25. doi: 10.1097/MAO.0000000000000762. PMID: 25853611.
- Firszt JB, Reeder RM, Dwyer NY, Burton H, Holden LK. “Localization training results in individuals with unilateral severe to profound hearing loss.” *Hear Res.* 2015 Jan;319:48-55. doi: 10.1016/j.heares.2014.11.005. Epub 2014 Nov 29. PMID: 25457655; PMCID: PMC4291285.

- Freigang C, Richter N, Rübsamen R, Ludwig AA. “Age-related changes in sound localisation ability”. *Cell Tissue Res.* 2015 Jul;361(1):371-86. doi: 10.1007/s00441-015-2230-8. Epub 2015 Jun 16. PMID: 26077928.
- Gallego S., Gutleben J., Guevara N. “Réhabilitation des patients ayant une (sub)cophose unilatérale » EPU 2016.
- Gallego S. et al. “Réhabilitation des patients ayant une surdité unilatérale”, Juillet 2010.
- Gustafson TJ, Hamill TA. “Differences in localization ability in cases of right versus left unilateral simulated conductive hearing loss.” *J Am Acad Audiol.* 1995 Mar;6(2):124-8. PMID: 7772781.
- Ha J, Kim H, Lee JH, Park HY. Sound localization in patients with a unilateral hearing aid: Discordance between the right and left ears. *Laryngoscope Investig Otolaryngol.* 2022 Mar 4;7(2):599-603. doi: 10.1002/liv.2.769. PMID: 35434348; PMCID: PMC9008160.
- Han JH, Lee J, Lee HJ. “Ear-Specific Hemispheric Asymmetry in Unilateral Deafness Revealed by Auditory Cortical Activity.” *Front Neurosci.* 2021 Jul 30;15:698718. doi: 10.3389/fnins.2021.698718. Erratum in: *Front Neurosci.* 2021 Nov 03;15:793365. PMID: 34393711; PMCID: PMC8363420.
- Hanss J, Veuillet E, Adjout K, Besle J, Collet L, Thai-Van H. “The effect of long-term unilateral deafness on the activation pattern in the auditory cortices of French-native speakers: influence of deafness side.” *BMC Neurosci.* 2009 Mar 23;10:23. doi: 10.1186/1471-2202-10-23. PMID: 19309511; PMCID: PMC2662863.
- Hol MK, Kunst SJ, Snik AF, Cremers CW. “Pilot study on the effectiveness of the conventional CROS, the transcranial CROS and the BAHA

transcranial CROS in adults with unilateral inner ear deafness". *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2010 Jun;267(6):889-96. doi: 10.1007/s00405-009-1147-9. Epub 2009 Nov 11. PMID: 19904546; PMCID: PMC2857795.

- Irving S, Moore DR. "Training sound localization in normal hearing listeners with and without a unilateral ear plug." *Hear Res.* 2011 Oct;280(1-2):100-8. doi: 10.1016/j.heares.2011.04.020. Epub 2011 May 27. PMID: 21640176.
- Ivry R.B., Leiby P.C., "Hemispheric differences in auditory perception are similar to those found in visual perception", *Psychol. Sci.*, 4(1) (1993).
- Ivry R.B., Robertson L.C., "The two sides of perception", MIT Press, Cambridge, MA, 1998.
- Lee HJ, Kang DW, Yeo SG, Kim SH. "Hearing Aid Effects and Satisfaction in Patients with Tinnitus". *J Clin Med.* 2022 Feb 18;11(4):1096. doi: 10.3390/jcm11041096. PMID: 35207368; PMCID: PMC8875221.
- Jerger J, Chmiel R, Allen J, Wilson A. "Effects of age and gender on dichotic sentence identification." *Ear Hear.* 1994 Aug;15(4):274-86. doi: 10.1097/00003446-199408000-00002. PMID: 7958527.
- Jerger J, Moncrieff D, Greenwald R, Wambacq I, Seipel A. "Effect of age on interaural asymmetry of event-related potentials in a dichotic listening task." *J Am Acad Audiol.* 2000 Jul-Aug;11(7):383-9. PMID: 10976499.
- Khosla D, Ponton CW, Eggermont JJ, Kwong B, Don M, Vasama JP. "Differential ear effects of profound unilateral deafness on the adult human central auditory system." *J Assoc Res Otolaryngol.* 2003 Jun;4(2):235-49. doi: 10.1007/s10162-002-3014-x. PMID: 12943375; PMCID: PMC3202721.

- Kitterick PT, Smith SN, Lucas L. “Hearing Instruments for Unilateral Severe-to-Profound Sensorineural Hearing Loss in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis.” *Ear Hear.* 2016 Sep-Oct;37(5):495-507. doi: 10.1097/AUD.0000000000000313. PMID: 27232073; PMCID: PMC4998125.
- Leterme G, Bernardeschi D, Bensemman A, Coudert C, Portal JJ, Ferrary E, Sterkers O, Vicaut E, Frachet B, Bozorg Grayeli A. “Contralateral routing of signal hearing aid versus transcutaneous bone conduction in single-sided deafness.” *Audiol Neurootol.* 2015;20(4):251-60. doi: 10.1159/000381329. Epub 2015 May 22. PMID: 26021779.
- Lin LM, Bowditch S, Anderson MJ, May B, Cox KM, Niparko JK. “Amplification in the rehabilitation of unilateral deafness: speech in noise and directional hearing effects with bone-anchored hearing and contralateral routing of signal amplification.” *Otol Neurotol.* 2006 Feb;27(2):172-82. doi: 10.1097/01.mao.0000196421.30275.73. PMID: 16436986.
- Litovsky et al. “Binaural Hearing”, Livre de 2021.
- Liu YW, Cheng X, Chen B, Peng K, Ishiyama A, Fu QJ. “Effect of Tinnitus and Duration of Deafness on Sound Localization and Speech Recognition in Noise in Patients With Single-Sided Deafness.” *Trends Hear.* 2018 Jan-Dec;22:2331216518813802. doi: 10.1177/2331216518813802. PMID: 30509148; PMCID: PMC6291880.
- Lorenzi A. “Audition et démasquage binaural chez l’Homme”, Décembre 2016.
- Lucas L, Katiri R, Kitterick PT. “The psychological and social consequences of single-sided deafness in adulthood.” *Int J Audiol.* 2018

Jan;57(1):21-30. doi: 10.1080/14992027.2017.1398420. Epub 2017 Nov 13.
PMID: 29132260.

- Marx M, Mosnier I, Venail F, Mondain M, Uziel A, Bakhos D, Lescanne E, N'Guyen Y, Bernardeschi D, Sterkers O, Deguine O, Lepage B, Godey B, Schmerber S, Bonne NX, Vincent C, Fraysse B. "Cochlear Implantation and Other Treatments in Single-Sided Deafness and Asymmetric Hearing Loss: Results of a National Multicenter Study Including a Randomized Controlled Trial." *Audiol Neurootol.* 2021;26(6):414-424. doi: 10.1159/000514085. Epub 2021 Mar 31. PMID: 33789270; PMCID: PMC8686720.
- Moulin A, Vergne J, Gallego S, Micheyl C. "A New Speech, Spatial, and Qualities of Hearing Scale Short-Form: Factor, Cluster, and Comparative Analyses". *Ear Hear.* 2019 Jul/Aug;40(4):938-950. doi: 10.1097/AUD.0000000000000675. PMID: 30461444.
- Ocklenburg S, Hirnstein M, Hausmann M, Lewald J. "Auditory space perception in left- and right-handers". *Brain Cogn.* 2010 Mar;72(2):210-7. doi: 10.1016/j.bandc.2009.08.013. Epub 2009 Sep 27. PMID: 19786316.
- Parisa A, Reza NA, Jalal SS, Mohammad K, Homa ZK. "Horizontal Localization in Simulated Unilateral Hearing Loss." *J Audiol Otol.* 2017 Dec;22(1):39-44. doi: 10.7874/jao.2017.00192. Epub 2017 Dec 29. Erratum in: *J Audiol Otol.* 2023 Jan;27(1):54. PMID: 29325392; PMCID: PMC5784370.
- Pedley AJ, Kitterick PT. "Contralateral routing of signals disrupts monaural level and spectral cues to sound localisation on the horizontal plane." *Hear Res.* 2017 Sep;353:104-111. doi:

10.1016/j.heares.2017.06.007. Epub 2017 Jun 21. PMID: 28666702; PMCID: PMC5603973.

- Philippe Albouy *et al.* “Distinct sensitivity to spectrotemporal modulation supports brain asymmetry for speech and melody”. *Science* 367, 1043-1047 (2020). DOI: [10.1126/science.aaz3468](https://doi.org/10.1126/science.aaz3468)
- Poeppel D., “The analysis of speech in different temporal integration windows: cerebral lateralization as ‘asymmetric sampling in time’”, *Speech Commun.*, 41 (2003), pp. 245-255.
- Potier M. “Nouvelles techniques et stratégies de réhabilitation des surdités neurosensorielles asymétriques. ”, Novembre 2023.
- Potier M, Gallego S, Fournier P, Marx M, Noreña A. “Amplification of the poorer ear by StereoBiCROS in case of asymmetric sensorineural hearing loss: effect on tinnitus.” *Front Neurosci.* 2023 May 25;17:1141096. doi: 10.3389/fnins.2023.1141096. PMID: 37304020; PMCID: PMC10248029.
- Saroul N, Akkari M, Pavier Y, Gilain L, Mom T. “Long-term benefit and sound localization in patients with single-sided deafness rehabilitated with an osseointegrated bone-conduction device.” *Otol Neurotol.* 2013 Jan;34(1):111-4. doi: 10.1097/MAO.0b013e31827a2020. Erratum in: *Otol Neurotol.* 2013 Jul;34(5):970. Nicolas, Saroul [corrected to Saroul, Nicolas]; Mohamed, Akkari [corrected to Akkari, Mohamed]; Yoann, Pavier [corrected to Pavier, Yoann]; Laurent, Gilain [corrected to Gilain, Laurent]; Thierry, Mom [corrected to Mom, Thierry]. PMID: 23202156.
- Simonetti P, Vasconcelos LG, Gândara MR, Lezirovitz K, Medeiros ÍRT, Oiticica J. “Hearing aid effectiveness on patients with chronic tinnitus and associated hearing loss”. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2022 Nov-Dec;88

Suppl 3(Suppl 3):S164-S170. doi: 10.1016/j.bjorl.2022.03.002. Epub 2022 May 20. PMID: 35729042; PMCID: PMC9761006.

- Scala B. “Hearing Space, le test de localisation à l’aide de la réalité virtuelle”, *Audiologie Demain*, 17 février 2023.
- Seldran F. “Restitution des hautes fréquences chez les patients ayant une surdité de plus de 80dB au-delà de 1000Hz”, *Mémoire Oct. 2009*. Pages 52-55.
- Snapp HA. “Nonsurgical Management of Single-Sided Deafness: Contralateral Routing of Signal”. *J Neurol Surg B Skull Base*. 2019 Apr;80(2):132-138. doi: 10.1055/s-0039-1677687. Epub 2019 Jan 17. PMID: 30931220; PMCID: PMC6438788.
- Snapp HA, Ausili SA. “Hearing with One Ear: Consequences and Treatments for Profound Unilateral Hearing Loss.” *J Clin Med*. 2020 Apr 3;9(4):1010. doi: 10.3390/jcm9041010. PMID: 32260087; PMCID: PMC7230949.
- Tanaka K, Ross B, Kuriki S, Harashima T, Obuchi C, Okamoto H. “Neurophysiological Evaluation of Right-Ear Advantage During Dichotic Listening”. *Front Psychol*. 2021 Jul 8;12:696263. doi: 10.3389/fpsyg.2021.696263. PMID: 34305754; PMCID: PMC8295541.
- Tervaniemi M, Hugdahl K. “Lateralization of auditory-cortex functions”. *Brain Res Brain Res Rev*. 2003 Dec;43(3):231-46. doi: 10.1016/j.brainresrev.2003.08.004. PMID: 14629926.
- Thievenaz D. “Localisation entre appareils de Classe I et de Classe II”, *Mémoire Oct. 2020*.

- Usami SI, Kitoh R, Moteki H, Nishio SY, Kitano T, Kobayashi M, Shinagawa J, Yokota Y, Sugiyama K, Watanabe K. “Etiology of single-sided deafness and asymmetrical hearing loss.” *Acta Otolaryngol.* 2017;137(sup565):S2-S7. doi: 10.1080/00016489.2017.1300321. Epub 2017 Apr 1. PMID: 28366032.
- Vila PM, Lieu JE. Asymmetric and unilateral hearing loss in children. *Cell Tissue Res.* 2015 Jul;361(1):271-8. doi: 10.1007/s00441-015-2208-6. Epub 2015 May 26. PMID: 26004144; PMCID: PMC4490007.
- Wie OB, Pripp AH, Tvette O. “Unilateral deafness in adults: effects on communication and social interaction.” *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2010 Nov;119(11):772-81. PMID: 21140638.

VI- Annexes

Annexe 1 : Test de latéralité d'Edinburgh

EDINBURGH HANDEDNESS INVENTORY

Main dominante : Oldfield R.C. (1971)

Code patient

Pré-ACA

Post-ACA

Dans le tableau ci-dessous, veuillez indiquer la façon dont vous vous servez préférentiellement de vos mains pour les actions citées.

Si votre préférence est présente, veuillez indiquer par une croix simple « X » dans la colonne.

Si votre préférence est très grande, veuillez l'indiquer par une double croix « XX ».

Si vous n'avez pas de préférence, veuillez l'indiquer par une croix simple « X » dans chaque colonne.

Si vous n'avez aucune expérience de l'action mentionnée, veuillez laisser les colonnes vides.

Merci d'essayer de répondre à toutes les actions.

	ACTIONS	MAIN GAUCHE PREFEREE	MAIN DROITE PREFEREE
1	ECRIRE		
2	DESSINER		
3	LANCER / JETER		
4	DECOUPER AVEC DES CISEAUX		
5	SE BROSSER LES DENTS		
6	UTILISER UN COUTEAU (sans la fourchette)		
7	UTILISER UNE CUILLERE		
8	BALAYER (main du haut)		
9	GRATTER UNE ALLUMETTE (main qui tient l'allumette)		
10	OUVRIR UNE BOITE (main sur le couvercle)		
	TOTAL :		

Quotient de latéralisation manuelle :

.....
[(Nombre de préférences droites – Nombre de préférences gauches) / nombre total de préférences] x 100

Annexe 2 : Lettre de consentement libre et éclairé patients

Lettre de consentement éclairé pour la participation à une étude scientifique dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude

Personnes responsables de l'étude :

Marie-Charlotte Rochette, étudiante en troisième année d'audioprothésiste à l'Université Claude Bernard Lyon 1 accompagnée de son maître de mémoire, Monsieur POTIER Morgan Diplômé d'Etat.

Etude :

Effets de la latéralité de la (sub)cophose sur les capacités de localisation
spatiale horizontale

Engagement du patient participant à l'étude :

- Si vous êtes volontaire pour participer à cette étude, vous serez amenés à vous rendre à l'Hôpital Privé du Grand Narbonne à Montredon-des-Corbières pour deux rendez-vous d'une heure environ. Durant cette visite, nous réaliserons différents tests auditifs ensemble afin d'évaluer notamment vos capacités de localisation spatiale.
- Votre participation se fait sur la base du volontariat, vous êtes donc libre de cesser votre participation à tout moment. En cas de retrait de mon consentement, cela n'influencera aucunement vos relations futures avec l'audioprothésiste du Laboratoire d'Audiologie Clinique.
- De plus, la publication des résultats de l'étude se fera toujours de façon anonyme.
- Pour toute demande concernant cette étude, vous pouvez bien sûr me contacter à l'adresse suivante : marie-charlotte.rochette@etu.univ-lyon1.fr.

- J'accepte de participer à cette étude, et je suis averti(e) de ma possibilité de rétractation.
- J'ai été informé(é) par la présente lettre de l'objectif des tests réalisés, et du déroulement de l'étude.
- J'ai lu et approuvé cette lettre d'information.

Signature de l'investigateur



Le

Signature du sujet

Annexe 3- Questionnaire SSQ-15 (page 1)

SSQ-15

Date :

Sujet :

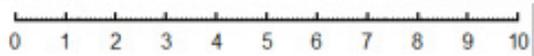
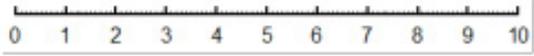
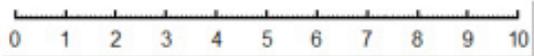
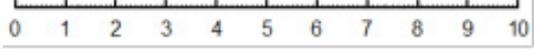
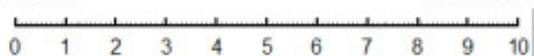
Conseil pour répondre aux questions

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

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

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

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

1ère partie : Audition de la parole		n/a
1. Vous discutez avec une autre personne dans une pièce dans laquelle un téléviseur est allumé. Pouvez-vous suivre les propos de votre interlocuteur sans baisser le son du téléviseur ?	<i>pas du tout</i> <i>parfaitement</i> 	
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 ?	<i>pas du tout</i> <i>parfaitement</i> 	
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 ?	<i>pas du tout</i> <i>parfaitement</i> 	
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 ?	<i>pas du tout</i> <i>parfaitement</i> 	
5. Vous discutez avec quelqu'un dans une pièce dans laquelle beaucoup d'autres personnes s'entretiennent. Pouvez-vous suivre ce que vous dit votre interlocuteur ?	<i>pas du tout</i> <i>parfaitement</i> 	

Annexe 3 Bis : Questionnaire SSQ-15 (page 2)

SSQ-15

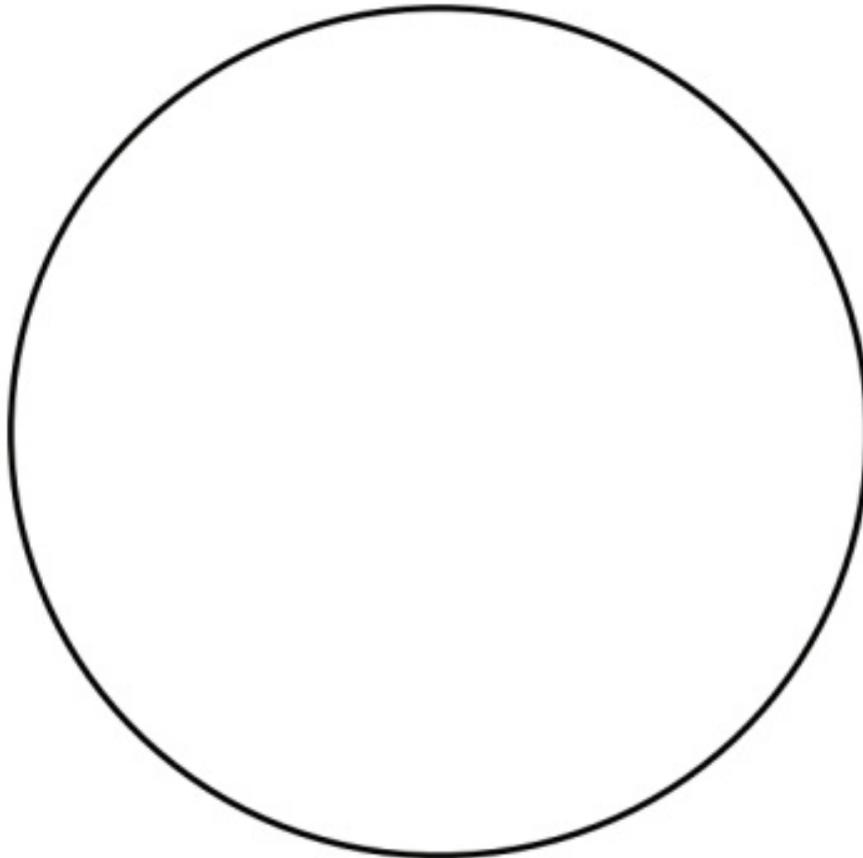
2ème partie : Audition spatiale		n/a
1. Vous êtes assis autour d'une table ou participez à une réunion avec plusieurs personnes. Vous ne pouvez pas voir toutes les personnes. Pouvez-vous dire où se trouvent les différentes personnes dès qu'elles prennent la parole ?	<p><i>pas du tout</i> <i>parfaitement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

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

Laboratoire d'Audiologie Clinique

CoDEX

Cognitive Disorders Examination



Nom : _____

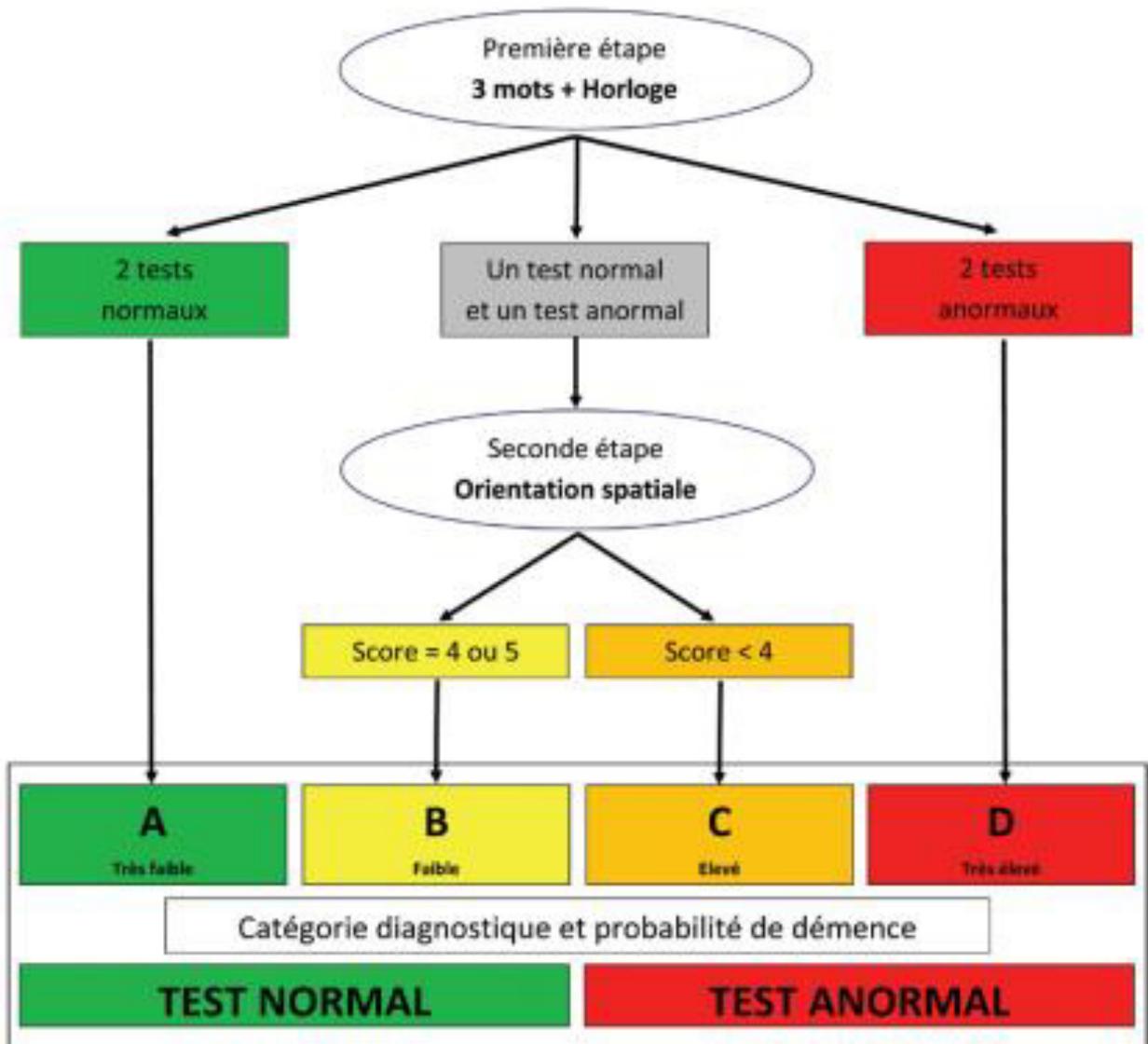
Prénom : _____

Date : _____

CATEGORIE TEST : _____

*Le test CODEX a été mis au point par le Pr Belmin et son équipe à l'hôpital Charles Foix, Ivry-sur-Seine
Information sur le test sur le site www.testcodex.org
Références : Presse Med 2007; 36:1183-90 ; Revue de Gériatrie 2007; 32:627-31.*

Arbre de Décision



Annexe 5 : Listes dissyllabiques de Fournier

AUDIOMETRIE VOCALE

Listes dissyllabiques

J.-E. Fournier

Patient

Date	Voix M F	Voix M F	Voix M F	Voix M F	Voix M F
Audiomètre					
Opérateur	CD 2 piste				
Observations	1 33 63	2 34 64	3 35 65	4 36 66	5 37 67
	le bouchon	le râteau	le souci	le congé	le grillon
	souper	donjon	tripot	mouton	terrain
	rondin	sergent	balai	roseau	soulier
	grumeau	crémier	vallon	frelon	gazon
	rebut	niveau	saindoux	lapin	faisceau
	glaçon	refrain	brigand	traité	billet
	réchaud	veston	rouleau	caillot	rabais
	coffret	forban	défi	radis	plateau
	gamin	bûcher	bambin	bâton	cordon
	clavier	cachot	secret	ruban	ticket
	/ 10	/ 10	/ 10	/ 10	/ 10

Voix M F	Voix M F	Voix M F	Voix M F	Voix M F
CD 2 piste				
6 38 68	7 39 69	8 40 70	9 41 71	10 42 72
le pigeon	le repas	le dentier	le nougat	le poussin
carnet	complot	boulon	devis	chevreau
noyau	savon	hameau	baquet	forfait
jardin	curé	conflit	débris	mari
portrait	sanglot	bonnet	guichet	bosquet
blason	poulet	fusil	bijou	garçon
salut	chaînon	rayon	cahier	sifflet
délai	sachet	bandeau	goujon	boîtier
sabot	remous	relais	dessin	cahot
jumeau	coquin	canon	coteau	taudis
/ 10	/ 10	/ 10	/ 10	/ 10

Annexe 6 : Listes dissyllabiques de Lafon

AUDIOMETRIE VOCALE

Listes dissyllabiques

Test phonétique de J.-C. Lafon

Patient

Date	Voix M F E	Voix M F E	Voix M F E	Voix M F E	Voix M F E
Audiomètre					
Opérateur	CD 2 piste				
Observations	1 3 13 23	2 4 14 24	3 5 15 25	4 6 16 26	5 7 17 27
	devant	genou	repas	volcan	cheval
	facteur	lundi	milieu	refrain	parfum
	bassin	sommeil	sapin	tailleur	sabot
	citron	cerceau	sourcil	tissu	concert
	dossier	buffet	museau	signal	poussin
	jumeau	ballon	talon	soldat	muguet
	caillou	patron	cadeau	départ	noyau
	galop	mendiant	réveil	boucher	dîner
	prénom	voisin	bouquet	berger	métal
	poulain	rôti	grenier	moineau	désert
		/ 10	/ 10	/ 10	/ 10

Voix M F E	Voix M F E	Voix M F E	Voix M F E	Voix M F E
CD 2 piste				
6 8 18 28	7 9 19 29	8 10 20 30	9 11 21 31	10 12 22 32
velours	maillot	repos	renard	neveu
jeudi	docteur	cheveu	meunier	moteur
chausson	palais	tunnel	salon	salut
costume	dessert	serpent	pinceau	français
dessin	buvard	sifflet	sommier	ruisseau
balai	chagrin	cadran	ruban	début
carré	journal	bourgeon	hangar	printemps
fagot	filet	métier	visage	lilas
lampion	maçon	canard	couteau	canon
traîneau	secours	moulin	billet	bijou
	/ 10	/ 10	/ 10	/ 10

Annexe 7 : Listes de logatomes de Dodelé

AUDIOMETRIE VOCALE

Listes de logatomes

L. Dodelé

Patient											
Date	Audiomètre	Opérateur	Observations								
CD 4 piste											
E 36		1 37 42		2 38 43		3 39 44		4 40 45		5 41 46	
o d un		a d un		ai d eu		an tr oi		o k a		a ss ain	
ai f a		eu f an		ai f a		eu f é		au f ai		é f au	
eu ss a		u ss ai		eu ss a		i ss eu		ai ss i		ai ss a	
an ch é		eu ch é		an ch é		a ch ou		é ch a		i ch an	
i v é		ain v a		a v au		i v é		a v on		on v a	
i z a		ai z au		ou z eu		on z a		i z ain		ou z é	
a j on		a j on		u j ai		u j é		é j o		eu j i	
é p a		i p a		é p a		au p eu		eu p é		eu p ain	
a t o		ai t é		i t eu		a t o		i t a		ai t i	
ou k an		eu k é		i k a		ou k an		an k ou		u k a	
a b ain		i b an		ai b eu		eu b a		a b ain		eu b an	
a d é		eu d a		ain d eu		ain d an		an d eu		a d é	
an g o		eu g ain		é g an		ai g u eu		eu g ai		an g o	
a m ai		o m an		i m ain		a m ai		i m é		eu m ai	
é n a		ai n ou		é n an		é n a		ou n eu		eu n ain	
ai w a		é w a		on w ai		ai n w i		ai w a		a w é	
a r i		a r é		o r i		ai r ai		an r a		a r i	
a l ou		i l ou		a l ou		i l an		u l ou		ai l on	
/ 50		/ 50		/ 50		/ 50		/ 50		/ 50	

Annexe 8 : Tableau récapitulatif des RMSE

Type	Côté	Condition	Nb sujets	Moyenne	Écart-type	Min	25%	50%	75%	Max
CTR	B	Oreilles nues	11	9,07	5,99	2,81	4,21	5,63	14,86	18,76
	OD	Perte	6	61,97	12,70	46,03	51,77	63,07	72,27	76,30
	OG	Perte	5	75,29	17,50	48,02	72,43	75,22	87,48	93,30
SUB	OD	Appareils	9	87,59	17,61	58,08	73,32	90,59	102,49	106,24
		Oreilles nues	9	81,72	14,50	60,19	72,07	84,47	93,32	98,16
	OG	Appareils	9	92,78	15,49	68,98	86,02	99,70	106,17	107,10
		Oreilles nues	9	91,93	11,44	68,08	87,03	96,96	99,75	102,22

Annexe 9 : Valeurs de p-value pour la comparaison des audiogrammes

Côté subcophotique									
Fréquences	250	500	750	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Valeur de p-value	0,87	0,28	0,31	0,24	0,13	0,33	0,45	0,26	0,72
Côté oreille contrôlatérale									
Fréquences	250	500	750	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Valeur de p-value	0,20	0,47	0,77	0,82	1,00	0,81	0,67	0,40	0,41