

**Faculté de psychologie et des
sciences de l'éducation**

Ecole de logopedie

Étude de l'efficacité d'un entraînement à la perception de la parole dans le bruit, auprès d'adultes appareillés et/ou implantés cochléaires

Auteur : Agathe DECULTOT
Promoteur : Justine WATHOUR
Année académique 2023-2024

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Master en logopédie

REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier tout d'abord ma promotrice, Justine Wathour, pour sa grande disponibilité, sa ténacité à rendre la rédaction mon mémoire toujours plus fluide et légère, ses encouragements et ses conseils.

Je tiens aussi à remercier vivement Mme Françoise Estienne pour les multiples relectures assidues et les précieuses remarques.

Merci à toutes les personnes ayant accepté de participer à ce mémoire. Merci à celles qui m'ont aidé à trouver des participants, notamment Hélène Huaux et Elisabeth Catellani-Dehorter.

Enfin, je remercie grandement mes amis, ma famille, tous ceux qui m'entourent et qui m'ont permis d'arriver au bout de ces 5 années d'études.

ABSTRACT

La compréhension de la parole dans le bruit est une compétence essentielle pour communiquer au quotidien. Elle constitue la première plainte des personnes sourdes, appareillées et /ou implantées cochléaires, car elle impacte leurs interactions et leur qualité de vie.

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer si un entraînement dans le bruit améliore la perception de la parole dans ces situations d'écoute difficiles. Un groupe expérimental constitué de 9 adultes sourds appareillés et/ou implantés a bénéficié de 6 séances d'entraînement auditif. Un pré-test et un post-test ont évalué la perception de mots dans le bruit et au sein de chansons, la localisation spatiale, les capacités d'écoute dichotique et le ressenti de la personne dans le bruit au quotidien. Ces mêmes variables ont été mesurées pour un groupe de 7 adultes sourds appareillés et/ou implantés qui n'ont pas été entraînés et chez 10 adultes normo-entendants.

Les analyses statistiques ne montrent pas d'effets statistiques significatifs de l'entraînement sur les variables mesurées après l'entraînement auditif, mais tous les participants ont des scores supérieurs en post-test sur au moins deux tâches et ont rapporté des éléments qualitatifs bénéfiques. Ces séances leur ont permis de partager leur expérience de la surdité avec d'autres personnes confrontées aux mêmes difficultés, de prendre confiance en eux et de situer leur niveau en compréhension de la parole dans le bruit face aux tâches proposées et aux résultats des autres participants.

« J’atteste que ce mémoire est le fruit d’un travail personnel, que je n’ai pas copié tout ou une partie du travail d’autrui afin de la faire passer pour la mienne, et que toutes les sources d’information utilisées (livres, articles scientifiques, autres mémoires, thèses de doctorat, etc.) sont citées en référence. Je suis consciente que le fait de ne pas respecter ces conditions constitue du plagiat, et que le plagiat est considéré comme une faute grave au sein de l’Université et qu’il peut être sévèrement sanctionné.

J’atteste également que j’ai consulté le portail UCLouvain dédié à la prévention du plagiat et réussi le quiz de sensibilisation au plagiat destiné aux étudiants. »

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	10
PARTIE THÉORIQUE	11
1. Parole, bruit & compréhension.....	11
1.1. Son	11
1.2. Parole	12
1.3. Bruits.....	14
1.4. Écoute binaurale.....	16
1.5. Compréhension de la parole.....	17
1.5.1. Processus de niveaux inférieurs et supérieurs	17
1.5.2. Autres processus (attention, mémoire, connaissances linguistiques)	19
2. Difficultés de compréhension dans le bruit	19
3. Surdités & appareillages.....	21
3.1. Appareils auditifs	22
3.1.1. Fonctionnement technique.....	23
3.1.2. Bénéficiaires et usage	24
3.1.3. Apports & limites	25
3.2. Implant cochléaire.....	26
3.2.1. Fonctionnement technique.....	26
3.2.2. Population cible & mise en place	27
3.2.3. Apports	28
3.3. Algorithmes de réduction de bruit	30
4. Évaluation et rééducation dans le bruit	32
4.1. Évaluation de la perception de la parole	32
4.1.1. Dans le calme.....	32
4.1.2. Dans le bruit.....	33

4.2.	Plasticité cérébrale	36
4.2.1.	Définition.....	36
4.2.2.	Plasticité cérébrale après réhabilitation auditive	36
5.	Rééducation dans le bruit	37
5.1.	Généralités	37
5.2.	Rééducation par la musique	39
5.2.1.	Lien entre musique et parole.....	39
5.2.2.	Bénéfices cognitifs et auditifs de l'entraînement musical	40
6.	Programmes d'entraînement dans le bruit.....	41
7.	Conclusion.....	46
PARTIE PRATIQUE		47
1.	Problématique & hypothèses de recherche	47
2.	Population de sujets.....	47
2.1.	Groupe expérimental.....	47
2.2.	Groupe contrôle de sujets sourds	48
2.3.	Groupe contrôle de sujets entendants.....	48
3.	Procédure.....	49
3.1.	Pré-test	49
3.2.	Post-test.....	51
3.3.	Cotation des tests	53
3.4.	Matériel	54
4.	Séances d'entraînement à la perception de la parole dans le bruit.....	55
4.1.	Généralités	55

4.2.	Progression au fil des séances.....	56
4.2.1.	Perception de la parole dans la musique & les chansons.....	56
4.2.2.	Perception de la parole dans le bruit.....	57
4.2.3.	Perception de la parole dans l'espace	58
4.2.4.	Écoute dichotique	59
4.3.	Encodage des données	59
4.4.	Comité d'éthique.....	59
RÉSULTATS		60
1.	Présentation des groupes	60
2.	Comparaison des scores en pré-test & post-test.....	63
2.1.	Groupes	64
2.1.1.	Groupe expérimental	64
2.1.2.	Groupe contrôle sourd	64
2.1.3.	Groupe contrôle entendant.....	64
2.2.	Analyse qualitative et individuelle de l'évolution des scores du groupe expérimental.....	65
3.	Différences de performances inter-groupes.....	67
DISCUSSION		68
1.	Résultats	68
2.	Progression au sein du groupe expérimental.....	69
3.	Critiques méthodologiques.....	71
3.1.	Échantillonnage.....	71
3.2.	Pré-test & post-test.....	72
3.3.	Séances.....	73
4.	Critiques du matériel	74

5. Apports	74
6. Analyse des exercices.....	75
7. Comparaison à d'autres études.....	79
Conclusion.....	81
Table des tableaux	83
Table des figures & illustrations.....	85
BIBLIOGRAPHIE	86

INTRODUCTION

Les difficultés de compréhension de la parole dans le bruit sont la plainte principale des personnes sourdes et une limite majeure des appareillages. Alors que l'efficacité d'une rééducation auditive dans le calme semble bien établie (Prat Dit Hauret et al., 2022), les effets d'un entraînement dans le bruit sont moins probants et moins investigués.

Ce mémoire a pour objectif d'évaluer l'efficacité d'un entraînement à la perception de la parole dans le bruit, auprès de 9 adultes sourds appareillés et/ou implantés.

Une première partie théorique synthétise les données nécessaires pour étayer les fondements de l'expérimentation, tels que les mécanismes qui président à la compréhension de la parole, les raisons des difficultés d'écoute dans le bruit, les surdités avec leurs aides technologiques et l'apport d'une rééducation. Celle-ci est envisagée sous l'angle de la plasticité cérébrale et des effets de la musique sur le cerveau. Une deuxième partie présente la méthodologie de l'expérimentation suivie des résultats. Les limites de l'étude et des pistes d'amélioration et de recherche sont développées dans une dernière partie.

PARTIE THÉORIQUE

1. Parole, bruit & compréhension

Ce paragraphe est consacré au son, à la parole, au bruit, et aux processus impliqués dans la compréhension de la parole.

1.1.Son

Le son est une variation physique de la pression acoustique de l'air. Il provient de la vibration d'une source sonore formant des ondes qui se propagent dans le milieu aérien (Lorenzi, 2012). Ces sons produisent dans le cerveau des perceptions dites « auditives ». Elles se caractérisent par quatre dimensions, reprises par Lorenzi (2012) et Dupont & Lejeune (2021) :

- Le volume sonore, aussi appelé intensité, situe le son sur une échelle subjective variant entre faible et fort. Il est déterminé par le niveau de pression acoustique, exprimé en décibels SPL (dB SPL).
- La hauteur tonale, ou fréquence, dépend de la structure spectrale. Elle s'exprime en Hertz (Hz) et varie du grave (faibles fréquences) à l'aigu (hautes fréquences).
- Le timbre, un attribut multidimensionnel, distingue deux perceptions sonores de même volume sonore et de même hauteur. Le timbre de la voix est caractérisé par le nombre et l'audibilité des harmoniques.
- La durée du signal est le temps d'émission de la séquence sonore.

Un environnement sonore produit simultanément plusieurs objets sonores. Notre système auditif travaille à les isoler et les identifier en regroupant les signaux sonores provenant d'une même source pour construire un flux auditif cohérent de l'environnement auditif (Lorenzi, 2012).

1.2.Parole

La parole est une production sonore complexe, produite par les mouvements et positions des différents organes du conduit vocal qui perturbent le flux d'air provenant des voies respiratoires (Boite, 2000 ; Brisson & Tremblay, 2023 ; Farouk, 2017 ; Lalitte, 2008). Elle se caractérise par les variations de son enveloppe temporelle et de sa structure temporelle fine. L'enveloppe temporelle correspond aux fluctuations lentes du signal, qui permettent de déterminer l'intensité et la durée du son et d'identifier la parole dans le silence (Wathour et al., 2019). La structure temporelle fine fait référence aux fluctuations rapides de l'amplitude, essentielles pour percevoir la parole dans le bruit et informant sur la mélodie du son, le timbre, le voisement, le lieu et le mode articulaire (Ernst, 2020 ; Farouk, 2017 ; Wathour et al., 2019).

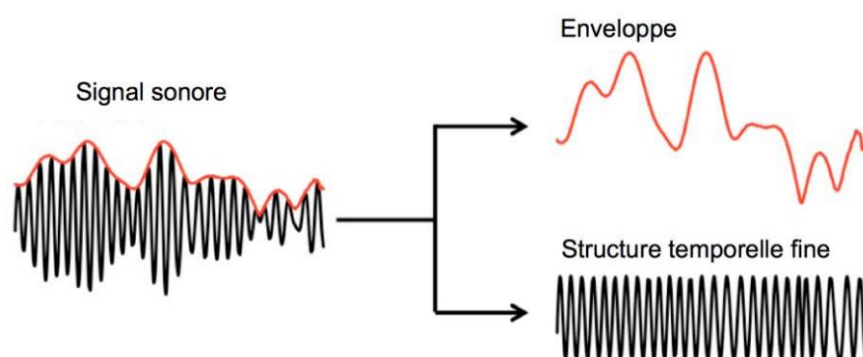


Figure 1 : Schéma de l'enveloppe temporelle et de la structure temporelle fine d'un son. Reproduit à partir de « *Évaluation d'un test d'audiométrie vocale rapide dans le bruit (VRB) par la mesure du rapport signal-sur-bruit* » par Djakoure, M-J., 2017.

Les sons de la parole, d'un point de vue linguistique, sont appelés phonèmes. Ils correspondent à la plus petite unité phonique distinctive. Il existe deux types de phonèmes : les sons voyelles et les sons consonnes. Ils se différencient par le lieu d'articulation, l'aperture, le voisement, le mode articulaire et la nasalisation. D'autres éléments peuvent compléter la caractérisation de ces sons, comme la labialisation, la durée, l'intensité, la tension ou la direction du mouvement de l'air (Boite, 2000). Les caractéristiques acoustiques d'un même phonème varient à la fois dans les productions d'une même personne mais aussi entre les locuteurs, selon les accents, le débit de parole, la qualité de la voix, etc. (Bieber & Gordon-Salant, 2021 ; Ullas et al., 2022).

Dans le silence, les personnes malentendantes perçoivent plus difficilement les consonnes non voisées que les voyelles. Les consonnes les plus résistantes à une confusion de perception sont le [r], le [ʃ] et le [ʒ] et la voyelle [a] est la mieux perçue. Les voyelles graves sont plus facilement perçues que les voyelles aiguës par les individus sourds. Comme les consonnes sont source d'intelligibilité de la parole, et qu'elles se situent dans les fréquences plus aiguës – affectées par la surdité – les personnes sourdes ont souvent l'impression que l'interlocuteur n'articule pas (Hecht, 2018 ; Lefèvre, 2008).

CONSONNES (PULMONIQUES) © 2020 IPA

	Bilabial	Labiodental	Dental	Alvéolaire	Post-alvéolaire	Rétroflexe	Palatal	Vélaire	Uvulaire	Pharyngal	Glottal
Plosive	p b			t d		ʈ ɖ	c ɟ	k ɡ	q ɢ		ʔ
Nasale	m	ɱ		n		ɳ	ɲ	ŋ	ɴ		
Vibrante				r					ʀ		
Battue		ʋ		ɾ		ɽ					
Fricative	ɸ β	f v	θ ð	s z	ʃ ʒ	ʂ ʐ	ç ʝ	x ɣ	χ ʁ	ħ ʕ	h ɦ
Fricative latérale				ɬ ɮ							
Approximante		ʋ		ɹ		ɻ	j	ɰ			
Approximante latérale				l		ɭ	ʎ	ʟ			

Dans une même case, le symbole de droite représente une consonne voisée, celui de gauche une non voisée.
Les cases grisées signalent des articulations considérées comme impossibles.

Figure 3 : Tableau des sons consonantiques. Reproduit à partir de « *La charte de l'alphabet phonétique international (API), édition de 2020, présentant les symboles phonétiques et leur description* », par International Phonetic Association, IPA. (2021, 2 novembre). Wikimédia.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/Charte_API_2020_fr.pdf

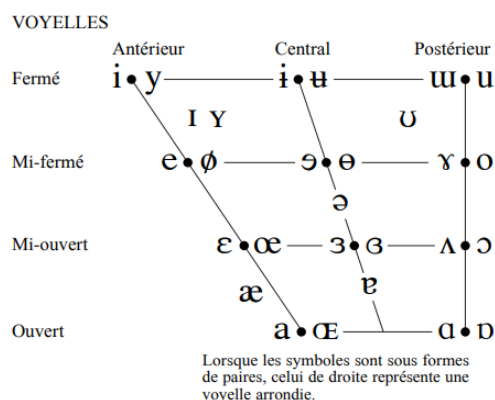


Figure 2 : Triangle vocalique reprenant les sons voyelles. Reproduit à partir de « *La charte de l'alphabet phonétique international (API), édition de 2020, présentant les symboles phonétiques et leur description* », par International Phonetic Association, IPA. (2021, 2 novembre). Wikimédia.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/Charte_API_2020_fr.pdf

Ces phonèmes se regroupent dans le langage en syllabes, puis en morphèmes. Ces derniers sont les premières unités de la parole porteuses de sens. Par assemblage, ces morphèmes – lexicaux ou grammaticaux - forment des mots (Boite, 2000). Enfin, ces mots s'organisent de façon hiérarchique au sein de phrases, contenant des informations lexicales, syntaxiques, sémantiques, prosodiques et suprasegmentales. Celles-ci permettent à l'individu d'inférer plus facilement le sens de la phrase même partiellement perçue (Bieber & Gordon-Salant, 2021).

Les discours naturels, hypoarticulés, nécessitent une adaptation rapide aux variations du débit et aux alternances de locuteurs afin d'avoir une bonne compréhension de la parole, en segmentant les mots et les phrases pour déduire le sens du discours (Tamati et al., 2023 ; Wingfield et al., 1992, as cited in Bieber & Gordon-Salant, 2021). Cette compréhension est rendue plus complexe dans le bruit.

1.3.Bruits

Sous l'angle acoustique, le bruit se définit comme un son complexe aperiodique : ses fréquences, ses amplitudes et ses phases varient aléatoirement. Sous l'angle psychoacoustique, le bruit est défini comme une sensation d'intensité sonore désagréable, voire néfaste pour la santé (Lalitte, 2008). Deux types de bruits se distinguent par leurs caractéristiques acoustiques : les bruits constants (ou dits stationnaires) et les bruits fluctuants. Les caractéristiques spectrales et temporelles des bruits constants sont stables, tandis que celles des bruits fluctuants évoluent dans le temps (Prell & Clavier, 2017). La perception de la parole dans un environnement bruyant est plus difficile en présence de bruit fluctuant qu'avec du bruit stationnaire (Ersnt, 2020 ; Perron, 2020).

Certains bruits constants typiques ont été nommés « bruits colorés », comme les bruits blanc, rose ou encore brun. Ils ont une distribution uniforme des fréquences en intensité sur une certaine bande spectrale (Lalitte, 2008).

Les bruits fluctuants correspondent aux bruits de « cocktail party » et de babillage, ou aux bruits de fond ambiants quotidiens, comme des conversations, des bruits de circulation routière, etc. (Prell & Clavier, 2017). Le bruit de cocktail comprend de multiples locuteurs échangeant au sein d'un environnement de fête, avec des bruits de verres, de pas, un fond musical, rendant l'intelligibilité d'une parole extrêmement compliquée à percevoir (Middlebrooks & Simon, 2017). Le bruit de « babillage » combine les voix de plusieurs locuteurs intelligibles (Prell & Clavier, 2017).

Les bruits ont une propriété de masquage, qui peut se diviser en deux catégories : le masquage énergétique et le masquage informationnel. Lorsque le bruit réduit l'audibilité par les processus auditifs périphériques en concurrençant la parole cible au niveau spectrotemporel, on parle de masquage énergétique. Ce masquage est typiquement celui utilisé dans les tâches de mesure du rapport signal-bruit, avec des bruits « colorés » et correspond, dans la vie de tous les jours, au bruit d'un système de ventilation, d'un aspirateur ou du trafic routier (Maillard et al., 2023 ; Perron, 2020). Lorsque l'attention est dirigée vers le masquage, proche spectrotemporellement de la cible, nous parlons alors de masquage informationnel. Ce type de masquage contient de l'information qui distrait l'auditeur, notamment si le bruit est une voix du même genre, de la même langue, voire du même locuteur. Le bruit de parole intelligible est le type de bruit à masquage informationnel le plus utilisé en recherche (Perron, 2020). Certains bruits peuvent contenir à la fois des composants de masquage énergétique et informationnel, comme des discours concurrents ou une situation de bruit cocktail par exemple (Maillard et al., 2023).

Les bruits de masquage, le type de masquage qu'ils induisent, le niveau de rapport signal- bruit, la configuration spatiale, ainsi que l'environnement acoustique sont les principaux facteurs influençant l'intelligibilité de la parole (Prell & Clavier, 2017).

1.4. Écoute binaurale

La combinaison des perceptions provenant des deux oreilles est appelée écoute binaurale. Elle est importante pour localiser les sources sonores (Balkenhol et al., 2020 ; Middlebrooks & Simon, 2017). Les paramètres physiques du son se modifient tout au long du trajet par l'environnement dans lequel le son se déplace (Berthomieu, 2019). Afin de repérer auditivement la source sonore dans un plan horizontal, notre système auditif se base sur des indices (Berthomieu, 2019 ; Bronkhorst, 2015) :

- La différence de temps interaurale (ITD, Interaural Time Difference) correspond au délai d'arrivée d'un son entre les deux oreilles
- La différence de niveau interaurale (ILD, Interaural Level Difference) est l'atténuation de l'onde sonore par le corps de l'auditeur. L'ILD est aussi décrite comme l'effet d'ombre de la tête. Lorsqu'un bruit provient d'un côté de la tête, elle projette une ombre acoustique qui diminue l'intensité sonore perçue par l'oreille la plus éloignée du signal sonore (Litovsky et al., 2017).

L'apport majeur de cette écoute binaurale est de séparer spatialement la parole cible et les interférences sonores afin de contribuer à une meilleure compréhension de la parole. Ce processus est appelé « libération spatiale du masquage ». Il est d'une aide modérée lorsque la cible et les interférences sont facilement différenciables par d'autres caractéristiques, mais peut se révéler essentiel quand ces deux éléments sonores sont similaires. Il est limité dans les environnements réverbérants, qui empêchent la distinction des emplacements des différentes sources sonores (Litovsky et al., 2017). L'effet d'ombre acoustique de la tête peut favoriser la perception par une oreille, selon l'emplacement des locuteurs. La différence de rapport entre les deux oreilles peut atteindre jusqu'à 4dB (Bronkhorst & Plomp, 1988, as cited in Bronkhorst, 2015).

1.5.Compréhension de la parole

La perception de la parole est définie comme la reconnaissance consciente et la mise en correspondance des propriétés du signal acoustique avec les références linguistiques. La compréhension de la parole peut ensuite se réaliser, par accès à la signification des représentations linguistiques assemblées (Ashori, 2020 ; Perron, 2020).

1.5.1. Processus de niveaux inférieurs et supérieurs

La perception de la parole est possible par l'interaction entre des mécanismes descendants (processus cognitifs et linguistiques de niveau supérieur) et ascendants (processus auditifs, phonologiques), permettant d'assimiler les signaux vocaux comme des unités linguistiques porteuses de sens. Le support des représentations visuelles (comme le mouvement des lèvres) et les représentations articulatoires aident à cette perception (Brisson & Tremblay, 2023 ; Davis & Johnsrude, 2007).

La perception auditive basée sur la disparité interaurale et sur les indices spectrotemporels du signal est supposée ascendante, sans préférence pour les sons de la parole par rapport aux autres éléments sonores captés (Kollmeier et al., 2008).

Parmi les mécanismes responsables de la perception de la parole, nous retrouvons le regroupement perceptuel qui permet de rendre plus clairs des discours déformés en fournissant des indices sur ce qui devrait être perçu. Le cerveau peut alors identifier la parole même lorsque le signal auditif n'est pas complet. La familiarité avec le type de stimuli présentés et l'exposition au langage dans différents contextes avec différents locuteurs améliore la perception de la parole, par un apprentissage perceptuel. Les éléments linguistiques de haut niveau et les connaissances en mémoire permettent d'élaborer des prédictions et de compléter les indices de perception de base. La segmentation de la parole amène à reconnaître des unités significatives dans la parole, bien que celles-ci ne correspondent pas à des unités acoustiques perceptibles dans le signal vocal et que la prononciation des mots varie

grandement selon le contexte et la coarticulation (Brisson & Tremblay, 2023 ; Davis & Johnsrude, 2007).

Tous ces mécanismes, utiles pour percevoir la parole dans le calme, sont essentiels pour percevoir cette même parole dans un environnement bruyant, où la compréhension du discours est rendue difficile par le masquage inhérent au bruit présent. La capacité à comprendre des éléments de parole dans le bruit évolue lentement pour atteindre son plafond à l'adolescence (Maillard et al., 2023). Les personnes normo-entendantes extraient efficacement les informations d'un discours oral, malgré une prédominance en intensité d'un bruit de fond concurrent (Kollmeier et al., 2008). Cette capacité d'écoute dans le bruit commence ensuite à décliner vers 50 ans et finit par constituer l'une des plaintes principales des personnes âgées (Maillard et al., 2023).

Plusieurs études ont cherché à déterminer la manière dont le bruit affecte l'intelligibilité de la parole, mais les trois hypothèses retenues ne font pas consensus. La première est que le bruit comblerait les intervalles entre les segments de parole, la seconde est qu'il déformerait les niveaux de stimulation durant les segments de parole et la dernière est que « les canaux dominés par le bruit peuvent être sélectionnés pour la stimulation au lieu des canaux dominés par la parole » (Kressner et al., 2019, p. 2).

Le système auditif périphérique capte simultanément le message verbal et l'environnement bruyant, sans distinction. Le filtrage des informations auditives afin d'extraire la parole est réalisé ensuite par les processus centraux (Ernst, 2020). Une bonne perception de la parole dans le bruit peut se faire grâce à différents processus centraux, que sont le codage précis des constitutifs acoustiques du son, le dégagement de la cible des environnements auditifs chargés, l'amélioration neuronale de la parole cible et l'inhibition du bruit de fond. Ces mécanismes de traitement de la parole se produisent en cascade (Shim et al., 2023). En situation d'écoute avec un bruit de fond de type cocktail, les différents objets auditifs doivent être différenciés, en se basant sur leur localisation, leurs différences spectrales (hauteurs de voix différentes, timbres variés) et temporelles (différences

d'apparition, de débit de voix...). Ces formations d'objets auditifs nécessitent de regrouper les composantes appartenant à une même source sonore et de distinguer celles-ci des composantes provenant d'autres sources (Kidd & Colburn, 2017 ; Middlebrooks & Simon, 2017).

1.5.2. Autres processus (attention, mémoire, connaissances linguistiques)

Afin de conserver une bonne perception de la parole dans une situation d'écoute difficile, les ressources cognitives et attentionnelles sont accrues pour augmenter l'attention portée au signal cible en essayant d'inhiber les effets nuisibles du bruit (Bieber & Gordon-Salant, 2021 ; Ernst, 2020). Des supports cognitifs regroupés sous le terme de suppléance mentale sont positivement corrélés avec une meilleure perception de la parole dans le bruit. Le niveau de langage, la mémoire de travail, la vitesse d'accès lexical, la conscience phonologique ainsi que les capacités inférentielles permettent de compléter par des connaissances et compétences mentales les lacunes du message perçu (Ernst, 2020 ; Hennessy et al., 2022).

La compréhension de la parole dans le bruit est facilitée par un contexte sémantique cohérent, qui permet l'anticipation des stimuli suivants. L'intelligibilité des mots est supérieure lorsqu'ils sont présentés au sein de phrases cohérentes qu'au sein de listes sémantiquement non liées (Zhang et al., 2023) et les mots non perçus sont plus facilement récupérables sur base d'informations contextuelles qu'un phonème (Bronkhorst, 2015).

2. Difficultés de compréhension dans le bruit

Dans le bruit, des difficultés similaires sont observées chez les patients âgés, malentendants, appareillés ou implantés cochléaires. Ce paragraphe développe les raisons de cette complexité d'écoute dans le bruit.

Dès l'âge moyen (entre 45 et 60 ans), l'écoute dans des environnements bruyants devient difficile. Les recherches doivent se poursuivre afin de préciser les processus à l'origine de ces difficultés, car les pistes explicatives sont diverses : changements cognitifs liés au vieillissement, surestimation des difficultés auditives, réduction de l'épaisseur du cortex auditif, diminution de la capacité de lecture labiale, augmentation de l'effort d'écoute... (Helfer & Jesse, 2021). Le vieillissement touche la fonction auditive du tronc cérébral et les ganglions spinaux. Les signaux de parole perçus ne sont pas fidèlement transmis par le code neuronal atteignant le cortex (Shader et al., 2019). Les difficultés d'écoute dans le bruit sont accentuées par un déclin cognitif qui entrave la restauration de la signification du discours (Ambert-Dahan, 2020 ; Bologna et al., 2023 ; Shader et al., 2019).

Chez les personnes sourdes, la perte auditive affecte négativement la résolution temporelle et spectrale, mal restaurée par les solutions technologiques proposées (Azéma & Rénard, 2008). En effet, la structure temporelle fine est imparfaitement codée, les fabricants ont tendance à privilégier la bonne transmission de l'enveloppe temporelle avant celle - plus délicate - de la structure temporelle fine (Li et al., 2022).

Il est facile pour un individu malentendant de confondre la cible sonore avec d'autres sources de l'environnement. Des éléments qui peuvent aider la perception d'une voix dans des situations d'écoute complexe, comme la localisation spatiale, la fréquence fondamentale, le rythme, le timbre ou encore l'intensité, ne sont pas retransmis fidèlement par les aides auditives et les implants cochléaires (Graetzer et al., 2021). Dans les situations bruyantes, la localisation spatiale est très perturbée pour les patients implantés, d'autant plus pour les implants unilatéraux que bilatéraux. Les porteurs d'implants ne se baseraient que sur la différence de niveau interaurale (ILD) afin de localiser un son dans le calme, ce qui limite leurs performances (Kerber & Seeber, 2012). La perte d'intégration des informations binaurales a une incidence directe sur la perception dans le bruit. Elle correspondrait à une augmentation du rapport signal-bruit de 3dB, dans le cas de surdité neurosensorielle (Nascimento & Bevilacqua, 2005).

Les patients appareillés et/ou implantés restent très sensibles au bruit de fond et la compréhension de la parole se détériore proportionnellement à l'augmentation du bruit parasite (Layer et al., 2023). Cette difficulté est en partie due à l'accès limité aux informations spectrales et temporelles, mais aussi à l'accroissement de l'effort d'écoute qui entraîne une fatigue mentale, l'épuisement de ressources cognitives et attentionnelles (Kressner et al., 2019 ; Layer et al., 2023). L'effort majeur en situation de bruit concerne le démasquage pour séparer le signal cible des voix interférentes (Rennies et al., 2019).

Les appareils auditifs permettent d'atteindre seulement 10% des capacités des personnes normo-entendantes en compréhension de la parole dans le bruit (Ersnt, 2020). Les bénéficiaires d'implant cochléaire ont besoin d'un rapport signal-bruit supérieur de 10 à 25dB, en comparaison aux normo-entendants, afin de parvenir aux mêmes performances que ces derniers (Ambert-Dahan, 2020).

3. Surdités & appareillages

La surdité est définie comme une diminution de l'ouïe, quels qu'en soient le degré ou l'origine. Elle peut être transitoire, définitive ou évolutive. Le lecteur intéressé trouvera en annexes un rappel de l'anatomie, de la physiologie et du fonctionnement du système auditif (Annexe 1) et les types de surdité (Annexe 2).

Les surdités sont divisées en 4 catégories, selon le degré de perte auditive en décibels par rapport à l'oreille normale. Le tableau 1 détaille cette classification.

Tableau 1: Classification des degrés de surdité. Adapté à partir de « *Classification audiométrique des déficiences auditives* », par BIAP. (1997, 1 mai)

<https://www.biap.org/en/component/content/article/65-recommendations/ct-2-classification/5-biap-recommendation-021-bis>

Degré de surdité	Perte auditive (en dB)	Perception
Audition normale	< 20dB	
Déficiencia auditive légère	Entre 21 et 40dB	Parole lointaine ou chuchotée difficilement perçue
Déficiencia auditive moyenne 1 ^{er} degré 2 ^{ème} degré	Entre 41 et 55dB Entre 56 et 70dB	Parole forte perçue Aide nécessaire de la lecture labiale Perception conservée de quelques bruits familiers
Déficiencia auditive sévère 1 ^{er} degré 2 ^{ème} degré	Entre 71 et 80dB Entre 81 et 90 dB	Parole proche et forte perçue Bruits forts perçus
Déficiencia auditive profonde 1 ^{er} degré 2 ^{ème} degré 3 ^{ème} degré	Entre 91 et 100dB Entre 101 et 100dB Entre 111 et 119dB	Aucune perception de la parole Perception des bruits très puissants
Déficiencia auditive totale	> 120dB	Aucune perception sonore

Différents appareillages répondent aux besoins de chaque patient en fonction de leur surdité et de leurs caractéristiques personnelles : systèmes BAHA ou Adhear, Cros et Bicros, implant cochléaire ou appareil auditif. Le fonctionnement de ces deux dernières aides technologiques est développé dans les paragraphes suivants.

3.1.Appareils auditifs

Les aides auditives sont utilisées en cas de surdité de perception avec une perte auditive légère à sévère. Lorsque la perte auditive est trop importante (supérieure à 60-80dB), les cellules ciliées internes de la cochlée ne détectent plus les vibrations même fortes : l'aide auditive, malgré une amplification importante, est inefficace (Illg & Lenarz, 2022 ; National Institute on Deafness and other Communication Disorders, 2022).

3.1.1. Fonctionnement technique

Les aides auditives sont des appareils externes amplifiant le signal acoustique (Fedorov et al., 2020). Ils se composent de quatre éléments de base :

- Un microphone captant l'environnement sonore et convertissant ces ondes mécaniques en signaux électriques ou en codes numériques
- Un amplificateur augmentant l'intensité du signal sonore ou de certaines fréquences bien déterminées
- Un haut-parleur envoyant à l'oreille la séquence sonore amplifiée
- Une batterie rechargeable ou une pile pour l'alimentation en énergie de l'appareil (National Institute on Deafness and other Communication Disorders, 2022 ; ReSound, s. d.).

Le style des aides auditives varie selon leur taille, leur emplacement dans et autour de l'oreille et le degré auquel ils amplifient le son. Un équilibre doit ainsi être trouvé entre la discrétion de l'appareil et la nécessité d'un gain suffisant pour une bonne utilisation. La figure 4 présente les différentes formes d'aides auditives existantes.

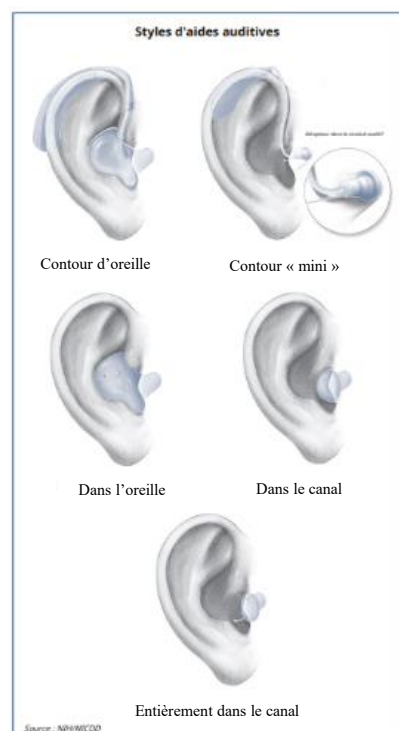


Figure 4 : Les styles d'aides auditives. Reproduit à partir de « *Hearing aids* », par

NIH (2022, 11 octobre) <https://www.nidcd.nih.gov/health/hearing-aids>

Auparavant, les appareils auditifs étaient des aides analogiques qui convertissaient les ondes sonores en signaux électriques ensuite amplifiés. De nos jours, les appareils sont des aides numériques qui convertissent les ondes sonores en code numérique pour ensuite les amplifier. Elles permettent un traitement plus fin et personnalisé, en apportant un gain spécifique en ciblant certaines fréquences selon les seuils audiométriques du patient. Elles peuvent aussi être programmées afin d'amplifier les sources sonores provenant d'une certaine direction (Kiliç & Kara, 2023 ; Munoz & Lequien, 2022 ; National Institute on Deafness and other Communication Disorders, 2022 ; Valentinuzzi, 2020). De nos jours, la plupart des aides auditives peuvent se connecter à d'autres appareils technologiques, comme des téléphones, ordinateurs ou télévisions, pour améliorer l'écoute.

3.1.2. Bénéficiaires et usage

La grande variabilité interindividuelle doit être prise en compte par l'audioprothésiste afin de choisir l'appareillage le plus adéquat aux besoins du patient. Il faut envisager la variabilité acoustique (physiologie de l'oreille, mécanismes de propagation du son), neurosensorielle (atteinte des cellules ciliées, perte neuronale, réaction aux sensations sonores) et cognitive (plasticité cérébrale, adaptation émotionnelle et sociale) du patient. Les réglages sont progressifs et l'adaptation demande un certain temps (Collège National d'Audioprothèse [CNA] et al., 2017 ; Munoz & Lequien, 2022).

La réussite de l'appareillage est corrélée avec l'acceptation du bruit : les personnes ayant l'habitude de vivre dans le bruit ont de meilleurs résultats. Il est donc pertinent de proposer aux patients des techniques d'habituation à mettre en place dans leur vie quotidienne, comme garder un fond sonore à leur domicile ou fréquenter les commerces aux heures d'affluence. Il faut aussi expliquer aux patients le phénomène de sidération auditive, qui se produit lorsque le sujet entre dans un milieu bruyant. Le cerveau a besoin de quelques secondes à quelques minutes pour s'adapter au bruit. Malgré le désagrément causé par cette exposition, l'individu ne doit pas immédiatement retirer son appareillage ou diminuer le volume, afin de

laisser au cortex auditif le temps d'appréhender ce nouvel environnement sonore (Ernst, 2020).

Parmi les personnes ayant accepté ces aides auditives, il apparaîtrait que 18% d'entre elles ne les utiliseraient finalement pas, d'après des enquêtes nationales menées au Pays de Galles. Les raisons seraient une impression de non-bénéfice, une difficulté à gérer ces appareils, l'inconfort lié à leur port et leur apparence (Dillon et al., 2020).

3.1.3. Apports & limites

Les aides auditives restaurent une bonne perception des sons de l'environnement et une bonne intelligibilité dans les situations de calme (Lorenzi, 2012). Leur port limiterait le déclin cognitif en comparaison à des participants avec une perte auditive non corrigée, ceci en contrôlant l'âge, le sexe, le niveau d'éducation, le statut socio-économique et les comorbidités. Le risque de déclin cognitif à long terme diminuerait de 19% grâce à l'utilisation d'aides auditives. Celles-ci permettraient même une amélioration de 3% des tests cognitifs à court terme (Yeo et al., 2023).

Les appareils auditifs ne permettent pas d'élaborer un objet auditif solide, du fait de leur mauvaise résolution temporelle et spectrale. Il est donc facile pour un utilisateur de confondre la cible sonore avec d'autres sources de l'environnement (Ernst, 2020). Dans le bruit, leur efficacité est très limitée, même lorsque le rapport signal-bruit est faible, ce qui constitue une des raisons du non-port des appareils (Graetzer et al., 2021).

L'amélioration des performances d'écoute dans le bruit constitue le premier axe de recherche poursuivi par les constructeurs de ces appareils. Un autre axe de recherche concerne la conception de microphones directionnels plus performants, notamment en étudiant la structure auditive d'une espèce de mouche ayant une très bonne capacité à localiser la source d'un son. Enfin, les chercheurs se penchent sur

la manière d'ajuster au mieux les aides auditives chez les bénéficiaires difficilement testables, comme les enfants (National Institute on Deafness and other Communication Disorders, 2022).

3.2. Implant cochléaire

3.2.1. Fonctionnement technique

L'implant cochléaire est un dispositif qui stimule directement les fibres nerveuses auditives. Sa mise en place nécessite une intervention chirurgicale chez les individus avec une perte auditive sévère à profonde, souvent due à une surdité de perception, et qui ne bénéficient pas des avantages des appareils auditifs (Alhabib et al., 2021 ; Bourn et al., 2022 ; Layer et al., 2023 ; Lorenzi, 2012). Il est constitué de deux parties, une interne et une externe. La partie interne se compose d'électrodes introduites dans la cochlée, d'un boîtier contenant l'antenne interne réceptionnant les informations, d'un système de stimulation des électrodes ainsi que d'un aimant de maintien placé sous la peau du crâne. Généralement, un processeur captant et traitant les informations sonores constitue la partie externe de l'implant cochléaire. Il peut être intégré directement dans l'antenne aimantée disposée sur le crâne ou bien prendre place dans un contour d'oreille (Gallégo & Collet, 2010 ; Lorenzi, 2012 ; Naples & Ruckenstein, 2020).

Le signal sonore, capté par le ou les microphones du processeur externe, est prétraité, divisé en bandes de fréquences puis transmis à la partie interne à travers la peau et les tissus mous du crâne. Il est ensuite dirigé vers le réseau d'électrodes dans la cochlée, qui stimule électriquement les fibres nerveuses (Carlyon & Goehring, 2021 ; Naples & Ruckenstein, 2020). Chaque électrode dans la cochlée transmet une bande spécifique du signal sonore, correspondante plus ou moins à l'organisation tonotopique de la cochlée. Le taux de stimulation code la structure temporelle du signal sonore, tandis que l'intensité sonore est transmise via l'amplitude du stimulus électrique (Gallégo & Collet, 2010 ; Lenarz & Scheper, 2015). Les bandes de fréquences extraites du signal sonore par une banque de filtres

varient en nombre, souvent de 12 à 22, et sont associées à une électrode. Celle-ci transmet aux terminaisons nerveuses l'enveloppe temporelle détachée de la bande de fréquence, éliminant la structure temporelle fine et donc des informations spectrales plus fines (Litovsky et al., 2017).

Le nombre d'électrodes, leur rigidité, leur longueur et la technique d'insertion varient entre les individus, selon la structure de l'oreille interne, les possibles malformations de la cochlée et la recherche de préservation de l'audition résiduelle (Naples & Ruckenstein, 2020).

Si une audition naturelle résiduelle est toujours présente (généralement dans les basses fréquences), une aide auditive est couplée à l'implant cochléaire pour la même oreille, afin de conserver l'audition acoustique naturelle plus fine pour distinguer les basses fréquences préservées tout en bénéficiant de la stimulation électrique offerte par l'implant dans les hautes fréquences. Cette méthode est appelée EAS : Electrical-Acoustical Stimulation (Lenarz & Scheper, 2015).

3.2.2. Population cible & mise en place

En cas de surdité sensorielle sévère et profonde, l'implant cochléaire est recommandé dans la plupart des cas pour restaurer l'audition, en contournant la conduction mécanique du son de l'oreille externe et moyenne (Chen et al., 2019 ; Lenarz & Scheper, 2015). Il est proposé à tout âge, chez certains avant 1 an, le plus tôt possible pour favoriser le développement du langage oral. La plus large population bénéficiant actuellement de ce dispositif concerne les personnes de plus de 65 ans, du fait de la diminution de l'audition avec l'âge (Bourn et al., 2022 ; Lorenzi, 2012).

Avant l'implantation cochléaire, un bilan complet et pluridisciplinaire est mené. Des seuils auditifs élevés en audiométrie tonale et des difficultés significatives en reconnaissance vocale donnent un premier aperçu du profil auditif du patient, candidat à l'implantation. Les structures de l'oreille interne doivent être évaluées

par une imagerie (IRM ou scanner), afin de détecter d'éventuelles malformations ou anomalies dans l'architecture de la cochlée. L'imagerie doit aussi vérifier l'état du nerf cochléaire, indispensable à une implantation (Naples & Ruckenstein, 2020).

L'implant cochléaire est programmé en deux étapes. Une ou plusieurs maps de traitement du signal sont enregistrées dans le processeur lors de l'activation. Elles se basent sur les niveaux T, les seuils de stimulation donnant une sensation auditive, et les niveaux C de stimulation forte mais confortable, pour chaque électrode (Távora-Vieira et al., 2022 ; Wathour, 2022). Après cette phase d'activation, les maps sont ajustées pour offrir la stimulation la plus adéquate au patient, lors de la phase d'optimisation (Wathour, 2022).

La durée d'utilisation quotidienne de l'implant cochléaire est positivement corrélée aux performances vocales : il est donc essentiel d'inciter les patients à porter leurs implants (Alhabib et al., 2021).

3.2.3. Apports

Bien que ces dispositifs permettent de restaurer une audition satisfaisante et une bonne reconnaissance vocale dans des conditions d'écoute calmes dans l'année suivant l'intervention, les bénéficiaires doivent apprendre à interpréter les sons électriques transmis par l'implant cochléaire. La qualité auditive, du fait de la stimulation directe du nerf auditif par l'implant cochléaire et du manque d'informations spectrotemporelles, diffère de l'audition normale et de celle permise par un appareil auditif. La voix est perçue comme plus robotique, du fait d'une transmission électrique – et non acoustique – du signal sonore. Il faut apprendre à la traiter et cet apprentissage peut être long (Chen et al., 2019 ; Dornhoffer et al., 2021 ; Layer et al., 2023 ; Tomioka et al., 2022).

Une rééducation auditive est proposée afin d'ajuster les réglages de l'implant et de développer l'acuité auditive (Ruthberg et al., 2020). Les résultats de cette rééducation sont très variables d'un individu à un autre et dépendent de nombreux

facteurs, comme des comorbidités médicales, de l'étiologie de la surdité, de sa durée et sa progression (Layer et al., 2023 ; Sharma et al., 2020 ; Tomioka et al., 2022). Une durée plus courte de surdité avant l'implantation cochléaire est associée à de meilleurs résultats postopératoires, tandis qu'un âge chirurgical plus élevé est corrélé avec des résultats moins bons (Jang et al., 2019 ; Tomioka et al., 2022). Les patients implantés atteignent en moyenne un score de 60 à 70% de reconnaissance de mots dans le calme (Dornhoffer et al., 2021). Les variations de taille et de forme de la cochlée peuvent aussi affecter les performances de l'implant, de même que les restes auditifs (Hrncirik et al., 2023). Il est donc difficile d'établir un pronostic, d'autant plus que l'apport de l'implant cochléaire est limité dans certaines situations, comme dans les environnements bruyants et réverbérants (Layer et al., 2023 ; Sharma et al., 2020 ; Tomioka et al., 2022).

En permettant une meilleure communication et en favorisant les échanges sociaux, les implants cochléaires augmentent significativement la qualité de vie des personnes qui en bénéficiaient (Ruthberg et al., 2020). Pourtant, d'après Bourn et al. (2022, p. 1), « l'implantation cochléaire reste sous-utilisée, avec moins de 10 % des candidats audiométriques actuellement implantés ».

Chez les patients âgés, malgré les craintes concernant la fragilité cochléaire, la diminution de la neuroplasticité ou encore la dégénérescence des voies auditives, l'implantation cochléaire s'est montrée sûre et efficace et a donné des résultats plus lents mais significatifs en perception de la parole (Young et al., 2024). Des techniques chirurgicales douces et un réseau d'électrodes conçu pour limiter le traumatisme cochléaire ont été développés afin de préserver au maximum l'audition résiduelle des patients implantés. L'étendue de l'audition préservée est positivement corrélée avec les scores post-implantatoires (Tarabichi et al., 2021). À l'avenir, l'intervention chirurgicale sera plus rapide et facilitée par l'assistance d'un robot, implantant les patients sous anesthésie locale afin qu'eux-mêmes réagissent directement aux sensations auditives résiduelles et guident l'insertion des électrodes (Illg & Lenarz, 2022).

La reconnaissance vocale dans le bruit et la perception de la musique constituent des pistes d'amélioration poursuivies par les chercheurs, d'autant que la compréhension langagière dans un environnement calme a atteint un plateau. Actuellement, la technologie ne permet pas l'augmentation du nombre d'électrodes insérées dans la cochlée, ni le codage efficace de la structure fine (Chen et al., 2019).

D'après Savvas et al. (2020), 3 à 7% des individus implantés cochléaires n'utiliseraient finalement pas cet implant du fait des avantages limités de ce dispositif.

3.3.Algorithmes de réduction de bruit

En réponse aux difficultés dans le bruit rencontrées par les bénéficiaires de ces aides technologiques, les fabricants d'implants cochléaires et d'appareils auditifs tentent d'y remédier en développant des algorithmes de réduction de bruit (Layer et al., 2023).

Cette réduction de bruit se base sur l'utilisation de microphones directionnels, captant le son provenant de plusieurs directions et le combinant en un signal monocanal permettant d'améliorer le rapport signal-bruit d'une certaine direction (Carlyon & Goehring, 2021). Les résultats ne sont pas toujours significatifs pour augmenter l'intelligibilité de la parole mais ces microphones réduisent considérablement l'effort d'écoute. Néanmoins, leur apport est limité lorsque les signaux cibles et interférents se trouvent trop rapprochés dans l'espace et que le bruit devient diffus par réverbération. Leur efficacité se restreint aux bruits stationnaires (Carlyon & Goehring, 2021 ; Kressner et al., 2019 ; Layer et al., 2023). Les bénéfices rapportés sont moins élevés qu'attendu, notamment car les conditions en laboratoire sont moins complexes acoustiquement que celles de la vie quotidienne (Litovsky et al., 2017).

D'autres stratégies de réduction de bruit ont été développées en utilisant un unique microphone pour capter l'environnement sonore. Elles se basent sur les différences

acoustiques et statistiques entre les signaux de parole et le bruit : ces deux éléments sonores sont traités séparément et leur représentation spectrotemporelle est pondérée de manière à mettre en évidence le signal cible langagier au-dessus du bruit (Carlyon & Goehring, 2021). Un diagramme de directivité est déterminé, afin de modifier la sensibilité du microphone selon l'angle d'incidence des sources sonores (Delerce et al., 2014). Les améliorations obtenues par ce type de stratégie sont moindres que celles réalisées par les microphones directionnels, elles sont néanmoins significatives pour certains bénéficiaires. Leur limite réside principalement dans le traitement de bruit fluctuant, car les différences entre parole et bruit ne sont pas assez conséquentes pour être discriminées par les processeurs. Ces stratégies de réduction de bruit produisent des améliorations en perception de la parole jusqu'à 25% ou bien une réduction de 2dB du rapport signal-bruit (Carlyon & Goehring, 2021).

ForwardFocus est un algorithme de réduction de bruit récemment développé par la firme Cochlear. Il combine ces deux méthodes d'amélioration de la perception de la parole dans le bruit. Il réduit automatiquement le bruit derrière et sur les côtés de l'utilisateur en se basant sur la directivité du microphone et augmente le rapport signal bruit pour les sources sonores situées en face de l'utilisateur (Cochlear, 2023).

Les trois principaux fabricants d'implants cochléaires, Cochlear, MED-EL et Advanced Bionics (AB) proposent des systèmes avec des caractéristiques spécifiques, comme les stratégies de codage vocal, les conceptions variées du réseau d'électrodes ou encore la fiabilité des appareils. La supériorité d'un système par rapport à un autre a fait l'objet de recherches, mais les résultats obtenus sont incohérents et les différences observées négligeables. L'implant MED-EL semble permettre une perception subjective de la musique supérieure (Tzvi & Keck, 2023 ; Jang et al., 2019).

Tableau 2 : Tableau comparatif des appareils auditifs et des implants cochléaires

	Appareils auditifs	Implants cochléaires
Signal sonore transmis	Acoustique	Électrique
Population cible	Perte auditive légère à sévère	Perte auditive sévère à profonde
Mise en place	Sans chirurgie Conservation de la transmission par l'oreille moyenne	Chirurgicalement Contournement de la transmission par l'oreille moyenne & interne
Limites	Dans le bruit Amplification limitée	Structure fine non transmise Localisation Dans le bruit

4. Évaluation et rééducation dans le bruit

4.1.Évaluation de la perception de la parole

4.1.1. Dans le calme

D'après Borel & Ernst (2020), l'évaluation de la perception doit reprendre à la fois le dénombrement d'éléments quantitatifs, que sont le nombre de sons, mots et phrases correctement compris, mais aussi le relevé d'éléments qualitatifs (phonèmes confondus ou non perçus, apport de la modalité visuelle et de la suppléance mentale, etc.) et le niveau d'intégration auditive du patient dans plusieurs modalités (avec et sans appareillage, avec et sans lecture labiale) (Borel & Ernst, 2020 ; Hecht, 2018).

La répétition, l'identification et la discrimination sont les tâches les plus utilisées afin d'évaluer la perception de la parole chez un individu. Elles peuvent être appliquées en présentant un signal sonore dans une seule ou dans les deux oreilles, avec l'usage d'un casque ou celui de haut-parleurs (Perron, 2020).

L'effort mental requis pour comprendre les éléments verbaux ciblés, appelé effort d'écoute, doit être pris en compte. Son évaluation subjective peut consister en la passation d'un questionnaire ou d'une échelle, mais la pupillométrie, l'IRM ou l'électroencéphalographie sont autant de moyens permettant de l'estimer objectivement (Borel & Ernst, 2020). Cet effort cognitif est plus élevé pour les personnes malentendantes, qui doivent traiter audiovisuellement le signal principal en parallèle du bruit environnant. Cette situation s'apparente pour elles à celle d'une double tâche, requérant un effort mental accru (Legland, 2019).

4.1.2. Dans le bruit

L'intérêt de l'évaluation de la perception de la parole dans le bruit est maintenant largement répandu et recommandé par les institutions publiques, s'inscrivant dans les procédures belges de prescription et remboursement des aides auditives (Reynard et al., 2021). Il convient de prêter attention aux particularités propres à chacun des tests dans le bruit proposés actuellement, car certains facteurs peuvent influencer les performances et la sensibilité de l'évaluation (Zendel et al., 2019).

Les items des tests sont traités différemment, selon qu'il soit possible de s'appuyer sur des ressources cognitives. Les processus descendants ont un rôle limité dans la perception de syllabes et de pseudo-mots, mais influent grandement la perception de phrases et mots (Zendel et al., 2019). Les informations grammaticales et sémantiques contenues dans les phrases permettent à l'individu de prédire et compléter les perceptions auditives lacunaires. L'apprentissage statistique des combinaisons de voyelles et consonnes d'une langue permet d'inférer les mots (Hennessy et al., 2022). En clinique, les tests avec des phrases sont préférés, car ils reflètent mieux les échanges quotidiens que les mots isolés, ceux contenant des mots familiers sont préférés pour les adultes aux connaissances linguistiques restreintes ou pour les enfants (Willberg et al., 2021).

Il est important de prêter attention au type de tâche proposé (répétition, discrimination, reconnaissance), à la réponse requise, au niveau de bruit et surtout

au type de bruit utilisé et au masquage qu’il induit (Hennessy et al., 2022 ; Maillard et al., 2023). La présentation unilatérale, permettant un diagnostic plus fin, ou bilatérale, plus représentative de la fonction d’écoute en situation réelle, du bruit et/ou de la cible doit aussi être relevée (Reynard et al., 2021).

Deux procédures de test peuvent être utilisées. Soit la présentation se fait à un niveau d’intensité fixe et constant à la fois du signal de parole et du bruit concurrent : de ce type de stratégie résulte un score en pourcentage du nombre d’éléments vocaux bien compris. Soit une procédure adaptative est adoptée, consistant à faire varier le ratio signal-bruit afin d’obtenir rapidement un seuil de reconnaissance (Reynard et al., 2021).

Il existe une grande variété de tests visant à évaluer la compréhension de la parole dans le bruit. Le tableau 3 reprend différents tests disponibles en français, décrits dans Reynard et al. (2021).

Tableau 3 : Tableau des tests français d’évaluation de la perception de la parole dans le bruit. Reproduit à partir de "Speech-in-Noise audiometry in Adults : A review of the available tests for French speakers”, par Reynard et al., 2021, *Audiology and Neuro-otology*, 27(3), 185-199.

Tests (as cited in Reynard et al., 2021)	Type de stimuli	Type de bruit	Passation
French Digit Triplet Test (Jansen et al., 2010)	10 listes de 20 triolets de chiffres	Bruit stationnaire	Valeurs normatives pour sujets normo-entendants
Test de Mots dans le Bruit (TMB) (Lagacé et al., 2013)	4 listes de 35 mots monosyllabiques	Bruit de babillage de locuteurs français (hommes et femmes)	Niveau fixe de RSB +5dB Passation unilatérale Données normatives pour sujets normo-entendants selon l’âge

Test matriciel FrMatrix (Jansen et al., 2012)	28 listes de 10 phrases de 5 mots	Bruit stationnaire	Données normatives pour sujets normo-entendants Procédure adaptation, RSB ajusté selon les réponses
Version canadienne du HINT (Vaillancourt et al., 2008)	12 listes de 20 phrases	Bruit blanc	Données normatives pour sujets normo-entendants
Test d'intelligibilité de phrases (FIST) (Luts et al., 2008)	14 listes de 10 phrases	Bruit blanc	RSB adaptatif selon les réponses
FrBio (Bergeron et al., 2019)	30 listes de 20 phrases	Bruit de babillage à 4 locuteurs ou bruit stationnaire	Données normatives pour sujets normo-entendants
Test Vocal Rapide dans le Bruit (VRB) (Leclercq et al., 2018)	120 phrases contenant 3 mots clés	Bruit de babillage de locuteurs français et anglais	Données normatives pour sujets normo-entendants RSB ascendant par pas de 3dB, difficulté croissante Passation rapide : environ 5 minutes
SUN (Paglialonga et al., 2011)	12 non-mots de type VCV	Bruit linguistique	Test de dépistage ; rapide et réalisé au casque Choix entre 3 réponses sur écran (liste fermée) RSB ascendant, difficulté croissante
Audiométrie Verbo-Fréquentielle (AVfB)	5 listes de 18 logatomes de type VCV	Bruit de babillage de locuteurs français et anglais	Passation rapide : 10 minutes environ RSB ascendant par pas de 3dB, difficulté croissante

Afin d'améliorer les performances en compréhension de la parole dans le bruit, un entraînement auditif peut être proposé, s'appuyant sur le processus de plasticité cérébrale.

4.2. Plasticité cérébrale

4.2.1. Définition

La plasticité cérébrale est la capacité d'adaptation du système nerveux aux changements internes et externes de l'environnement. Elle est dite intermodale lorsque des régions destinées au traitement d'une modalité sensorielle sont recrutées pour le traitement d'une autre faculté sensorielle altérée afin de compenser la perte. Elle peut aussi être intramodale lorsqu'une région corticale se réorganise en raison d'une altération des stimuli sensoriels habituellement traités en son sein pour en extraire le maximum d'informations. Enfin, la plasticité cérébrale peut être supra-modale quand une modalité sensorielle se développe dans les régions cérébrales multisensorielles au détriment d'une modalité déficitaire (Alzaher et al., 2021 ; Ambert-Dahan, 2020).

Cette notion de plasticité cérébrale sert de base à la rééducation auditive des personnes appareillées ou implantées. Le phénomène de plasticité en cas de surdité et chez des personnes âgées est développé en annexe 3.

4.2.2. Plasticité cérébrale après réhabilitation auditive

Même si la privation auditive entraîne inévitablement des réorganisations corticales, celles-ci ne sont pas irréversibles et peuvent se modifier par un appareillage. Chez des patients âgés, la correction auditive par aide auditive ou implant cochléaire permet des remaniements importants et bénéfiques de l'organisation corticale (Gallego et al., 2015 ; Glick & Sharma, 2020 ; Young et al., 2024).

L'implant cochléaire permet une évolution de la plasticité intermodale dans les régions corticales auditives mais aussi visuelles et audiovisuelles (Ambert-Dahan, 2020). D'après Alzaher et al. (2021, p.1123), « une forte rééducation visuelle et audiovisuelle au cours des premiers mois après l'implantation améliorerait et accélérerait considérablement la récupération fonctionnelle de l'intelligibilité de la parole ». Suite à l'implantation, les aires auditives sont réactivées progressivement

et l'intégration audiovisuelle développée par la surdité est maintenue. On observe des progrès majeurs dans le codage temporel et spectral en réponse à la stimulation électrique de l'implant dans les mois suivants l'activation (Carlyon & Goehring, 2021).

5. Rééducation dans le bruit

5.1. Généralités

Même s'il existe peu d'études sur le sujet, la rééducation logopédique dans le bruit est pourtant essentielle, les exercices dans le calme ne sont plus suffisants pour répondre aux difficultés des patients. Les entraînements doivent évoluer vers des situations d'écoute complexe pour correspondre aux améliorations fournies par les technologies et aux demandes des bénéficiaires (Bescond & Lefèvre, 2014). L'objectif de l'entraînement auditif est d'apprendre aux personnes appareillées et/ou implantées à utiliser au mieux les indices acoustiques perçus pour limiter les inconvénients de la perte auditive et leur permettre une communication plus aisée dans leur quotidien. Cet entraînement peut suivre les différentes étapes de la perception auditive (la détection, la discrimination, l'identification et la compréhension), mais doit surtout s'adapter au niveau du patient. Il n'est pas toujours nécessaire de travailler les deux premiers niveaux pour des surdités acquises tardivement (Kim et al., 2021).

La rééducation dans le bruit doit se faire avec la meilleure correction auditive possible. L'entraînement doit débiter à un niveau de bruit où 50% du message est compris par le patient. Il est important de conserver la même intensité vocale, car les performances ont tendance à diminuer avec les implants cochléaires lorsque l'intensité sonore est trop forte (Ernst, 2020). Le type de stimuli vocaux doit être choisi selon l'objectif ciblé : les phrases sont considérées comme plus écologiques, car elles impliquent la suppléance mentale, elles sont généralement privilégiées à l'utilisation de syllabes, de mots et de pseudo-mots. Toutefois, les gains résultant

des entraînements par matériaux linguistiques divers n'ont pas été rapportés (Bieber & Gordon-Salant, 2021).

La rééducation auditive impliquant des compétences cognitives lors des exercices d'écoute, que ce soit l'attention ou bien la mémoire, est plus efficace et les améliorations engendrées sont encore observables 6 mois après la prise en charge (Ernst, 2020). En visant l'amélioration de la perception auditive chez des normo-entendants, les performances en attention divisée et la mémoire de travail ont aussi augmenté, contrairement aux groupes témoins. Cette augmentation des performances cognitives s'explique par leur implication dans tout apprentissage perceptuel et leur renforcement lors des exercices d'entraînement auditif (Bieber & Gordon-Salant, 2021).

L'entraînement peut être abordé de façon passive en exposant l'individu à des stimuli langagiers difficiles à percevoir, sans retour sur l'exercice proposé, ou de façon active en ajustant l'apprentissage aux réponses du patient, par rétroaction (Bieber & Gordon-Salant, 2021). Une équipe de chercheurs a mis en évidence des gains en perception, supérieurs lorsque l'entraînement alternait ces deux types d'exercices, à la fois une exposition passive et un engagement actif, chez des adultes normo-entendants, que lorsque l'entraînement n'était qu'actif ou que passif. Cela n'a toutefois pas été démontré chez des participants âgés (Wright et al., 2015 as cited in Bieber & Gordon-Salant, 2021).

L'entraînement peut adopter une démarche analytique, et donc ascendante, pour développer la détection, la discrimination et l'identification de sons. Il peut aussi être synthétique, et emprunter une approche descendante, pour développer les compétences en compréhension (Cambridge et al., 2022).

Les bénéfices d'un entraînement perceptuel peuvent se mesurer sur base de trois critères : l'amélioration des compétences aux stimuli entraînés, la généralisation à des compétences ou stimuli non intégrés en séances, et la conservation des bénéfices à long terme. Les résultats divergent entre les études, mais Ferguson et al (2019, as cited in Bieber & Gordon-Salant, 2021) concluent qu'une implication

cognitive dans l'entraînement est essentielle à la généralisation des compétences d'écoute à de nouveaux stimuli. La généralisation est acoustique si les sujets reconnaissent des items langagiers entraînés, mais prononcés par des voix inconnues. Elle est sémantique lorsque les participants reconnaissent des items non travaillés prononcés par des locuteurs familiers (Banai & Layner, 2019, as cited in Bieber & Gordon-Salant, 2021).

L'absence d'amélioration sur une tâche spécifique en perception langagière ne doit pas conduire à conclure systématiquement à l'inefficacité de la formation auditive. Il faut prendre en compte les améliorations dans la vie quotidienne, comme la qualité de vie, le bénéfice auto-perçu de l'entraînement ou la confiance en eux des participants, qui affectent directement les compétences en communication (Stropahl et al., 2019). La prise en charge en groupe est bénéfique : les participants ont l'opportunité de changer de perception sur leur propre handicap, sur leurs stratégies de communication et sur l'utilisation de leurs aides auditives. Il est rassurant et stimulant d'avoir les autres participants comme modèles de progression (Ernst, 2020). Les sujets sont davantage motivés à fournir un effort en termes d'attention en situation d'écoute lorsqu'ils parviennent à participer efficacement à des activités sociales : il est important de leur permettre de réussir à communiquer dans des situations écologiques motivantes (Pichora-Fuller et al., 2017).

5.2. Rééducation par la musique

5.2.1. Lien entre musique et parole

La parole et la musique, présentes largement dans toutes les cultures, partagent des éléments de base importants, discrets et organisés en séquences cohérentes et hiérarchiquement structurées : un tempo, des mélodies harmonieuses avec des productions rapides de notes, des durées de sons variables, une variété de timbres, des sons fricatifs et des bruits rapides, etc. (D'Alessandro et al., 2021 ; Lerousseau et al., 2020 ; Torppa & Huotilainen, 2019). La musique est spectrotemporellement plus large que la parole. Tout comme la parole dans le bruit, son écoute nécessite

de traiter simultanément du timbre, des fréquences et du rythme, en distinguant les différents instruments et mélodies (D'Alessandro et al., 2021).

La prosodie, définie comme les propriétés mélodiques de la parole, est un aspect langagier particulièrement lié à la musique, par des indices acoustiques communs (fréquence fondamentale, durée) et par le partage de la fonction de communication des émotions. L'entraînement musical a un effet positif sur la perception prosodique de la parole (Jansen et al., 2023).

Construites sur des principes syntaxiques communs, la parole et la musique seraient traitées par des processus similaires : des modèles ont cherché à mettre en évidence l'influence de la musique sur la perception de la parole (Patel, as cited in Torppa & Huotilainen, 2019). Les réseaux cérébraux qui traitent les signaux linguistiques et musicaux se chevauchent (D'Alessandro et al., 2021). La musicothérapie permet un travail agréable et alternatif aux méthodes d'entraînement auditif traditionnelles, en entraînant des compétences communes à la perception de la musique et de la parole (Shukor et al., 2021).

5.2.2. Bénéfices cognitifs et auditifs de l'entraînement musical

La pratique musicale induit une plasticité cérébrale importante, notamment en améliorant le traitement auditif descendant, offrant un terrain propice à de nombreux apprentissages (Badariya et al., 2023 ; Lerousseau et al., 2020 ; Maillard et al., 2023 ; Tillmann et al., 2018). L'entraînement musical entraînerait une plasticité tout au long du chemin auditif : elle conduirait à des capacités auditives améliorées, même dans des environnements bruyants. Selon Du & Zatorre (2017, as cited in Zendel et al., 2019), ces bénéfices seraient dus à une amélioration des connexions entre le système auditif et le système moteur, en agissant via le système parole-moteur important dans la perception de la parole. La formation musicale agirait aussi directement sur le faisceau olivocochléaire (Badariya et al., 2023).

L'entraînement musical développe un certain nombre de compétences cognitives (D'Alessandro et al., 2021 ; Torppa & Huotilainen, 2019). Les aires cérébrales liées au traitement sémantique et émotionnel, aux fonctions motrices, à l'analyse auditive, à l'attention et à la mémoire de travail sont activées par des stimuli musicaux acoustiquement riches (D'Alessandro et al., 2021).

Des études (Badariva et al., 2023 ; Lerousseau et al., 2020 ; Park et al., 2023 ; Shukor et al., 2021 ; Zendel et al., 2019) ont prouvé qu'un entraînement musical améliore l'identification de phonèmes, mots et phrases, la discrimination de sons, l'analyse de la hauteur et de la durée, la compréhension de mots dans le bruit et la détection de sources sonores. La durée de l'entraînement est positivement corrélée avec l'efficacité de la formation auditive : plus l'entraînement est long, plus il est efficace (Shukor et al., 2021).

Il convient de mentionner la méta-analyse de McKay (2021) qui révèle des conclusions causales hâtives et erronées de la plupart des études ayant investigué le lien entre formation musicale et amélioration de la perception de la parole. La conclusion expose ainsi plusieurs pistes : « soit l'entraînement musical est inefficace pour améliorer la compréhension de la parole en général, soit les limitations imposées par la perte auditive ou l'écoute avec un IC ne peuvent pas être surmontées grâce à l'entraînement musical, ou bien ces deux propositions sont vraies » (p. 12). La musique conserve toutefois ses avantages sociaux, culturels et de plaisir qu'il convient de prôner auprès de la population sourde (McKay, 2021).

6. Programmes d'entraînement dans le bruit

Divers programmes d'entraînement dans le bruit sont présentés dans la littérature, mais ils sont difficilement comparables, vu les grandes différences méthodologiques. Ils peuvent différer dans les choix de leur objectif, de la population, du bruit et des items langagiers utilisés, de l'intensité et de la fréquence de la formation, des méthodes de définition du RSB, du choix du groupe contrôle, etc. L'état actuel de la littérature manque d'études comparables sur le sujet et de

programmes de formation auditive évalués objectivement (Bieber & Gordon-Salant, 2021 ; Cambridge et al., 2022).

Le tableau 4 reprend quelques programmes d'entraînement à la compréhension dans le bruit pour des adultes sourds appareillés et/ou implantés. Ces entraînements varient dans leurs méthodologies mais aussi dans leur approche de l'amélioration de la perception de la parole dans le bruit. Certains entraînent directement cette compétence (Magits et al., 2022 ; Bugannim et al., 2019 ; Green et al., 2019) tandis que d'autres cherchent à l'améliorer par le biais d'une autre compétence (musicale, spatiale, non linguistique...).

Ces études rapportent des améliorations à la compréhension dans le bruit après des entraînements intensifs soit sur un laps de temps restreint, soit tenus dans la durée. Ces améliorations ne sont pas toujours maintenues à long terme et sont d'importance variable (mentionnées entre +2 à +4 dB de RSB supérieurs). Ces expérimentations offrent toutefois des pistes d'éléments testés sur lesquels s'appuyer pour un entraînement auditif dans le bruit efficace, comme l'entraînement musical et l'exercice de la localisation spatiale.

Tableau 4 : Programmes d'entraînement à la perception de la parole dans le bruit.

Études	Population	Objectif	Matériel	Résultats	Points forts & points faibles
Magits et al., 2022	Adultes implantés cochléaires	Comparer l'efficacité d'un programme d'entraînement auditif personnalisé ou non À domicile	Variables mesurées : - Compréhension de phrases dans le bruit - Fonctionnement exécutif - Qualité de vie Pré-test, 16 semaines de formation, post-test, re-test après 8 mois sans formation	Résultats similaires entre l'entraînement personnalisé et celui non personnalisé Améliorations significatives sur les tâches Amélioration de la compréhension avec un RSB de +2dB après l'entraînement	Pas d'accès à l'article, pas de détails sur le contenu de l'entraînement auditif
Lofti et al., 2020	36 adultes âgés normo-entendants mais exprimant des difficultés de perception de la parole Répartis en 2 groupes (expérimental et contrôle)	Étudier l'effet d'un entraînement auditif spatial sur la perception de la parole dans le bruit chez des personnes âgées	Variables mesurées en pré, post-test et un mois après la fin de la formation : - Scores à la version spatiale du QuickSIN - SSQ (questionnaire évaluation les capacités en perception de la parole, audition spatiale et qualité de l'audition) Formation de 15 séances de 30 minutes, durant 5 semaines	Amélioration significative du RSB, mais non maintenue à court terme Augmentation de la libération spatiale du masquage maintenue à court terme Amélioration des scores au SSQ	Mise en évidence du bénéfice de l'entraînement auditif spatial pour dissocier les sources sonores et améliorer la perception de la parole dans le bruit

Études	Population	Objectif	Matériel	Résultats	Points forts & points faibles
Gao et al., 2020	83 adultes d'âge moyen normo-entendants, en 2 groupes (expérimental et contrôle)	Examiner s'il y a un transfert des apprentissages entre la discrimination fine des caractéristiques sonores et la perception de la parole dans le bruit	Variables mesurées en pré-test et post-test : - Tâche utilisée pour la formation - Perception de parole dans le bruit (mots et voyelles) Formation en cabine sur une tâche d'entraînement répétitive spatiale (discrimination ITD et ILD) ou spectrale d'une demi-heure par jour pendant 1 semaine ; procédure adaptative aux réponses données	Aucune amélioration pour la formation ITD Apprentissage et transfert vers la perception de la parole dans le bruit dans les tâches de formation ILD et spectrale	Langue chinoise très différente du français Normo-entendants Conclusion que l'apprentissage auditif est transférable entre les compétences auditives
Buganim et al., 2019	Groupe de 22 adultes implantés prélinguaux Groupe de 30 adultes normo-entendants	Comparer l'effet de l'entraînement en perception de la parole dans le bruit entre les deux groupes, après une même formation	1 séance de formation pour tous 4 séances de formation supplémentaires pour les NH 9 séances de formation supplémentaires pour les adultes IC Formation sur base de mots dans des RSB variables	Après 1 séance, RSB différent de 9 à 10dB entre adultes IC et adultes NH Amélioration du RSB après 10 séances pour le groupe IC de 4,1 dB. Pas de généralisation démontrée	Langue hébraïque Mise en évidence d'une amélioration du RSB après une formation auditive dans le bruit Chez patients sourds prélinguaux

Zendel et al., 2019	45 adultes âgés normo-entendants non musiciens	Étude longitudinale Investiguer une relation causale entre la formation musicale à court terme et les performances en compréhension dans le bruit	Participants divisés en 3 groupes randomisés : formation musicale, formation en jeux vidéo & groupe contrôle sans formation Formation de 6 mois, à domicile ; demande de s'exercer minimum 30 minutes 5 jours par semaine Tâche dans le bruit en pré, mi et post-test : mots avec bruits de babillage à 3 RSB	Amélioration du groupe « musique » à comprendre les mots dans le bruit avec un RSB élevé après la formation, mais pas les autres groupes	Étude en français Mise en évidence d'un bénéfice causal de l'entraînement musical sur les capacités auditives
Green et al., 2019	9 Adultes sourds postlinguaux implantés cochléaires	Étudier l'effet d'un entraînement à la perception de phrases dans le bruit sur ordinateur	Variables mesurées en pré et post-test, puis après 4 semaines sans formation : - Phrases avec un bruit de babillage - Identification de voyelles et consonnes avec bruit linguistique - Empan de chiffres dans le bruit Formation à domicile sur tablette, 30 minutes par jour, 6 jours par semaine durant 4 semaines (environ 12 heures de formation) Entraînements sur base de récits, constitués de phrases de 4 à 19 mots, avec un bruit de babillage	Amélioration significative de 2dB du RSB pour la reconnaissance des phrases avec un bruit de babillage Amélioration maintenue après 4 semaines Pas d'amélioration significative pour les autres variables mesurées	Faible échantillon Maintien des bénéfices de la formation dans le temps

7. Conclusion

La compréhension de la parole dans le bruit est une compétence difficile, requérant une bonne perception des propriétés acoustiques du signal cible, son démasquage dans le bruit et un effort mental accru. Elle est influencée par de nombreux facteurs, liés au bruit, à l'environnement, mais aussi personnels. La surdité impacte fortement cette capacité d'écoute. Elle limite la perception de la structure temporelle fine du son, essentielle pour comprendre la parole. Les appareils auditifs et les implants cochléaires actuels ne permettent quasiment pas cette transmission.

Ces données théoriques introduisent naturellement le travail pratique qui présente l'étude menée sur l'efficacité éventuelle d'un entraînement de la compréhension de la parole dans le bruit, auprès d'adultes implantés et/ou appareillés.

PARTIE PRATIQUE

1. Problématique & hypothèses de recherche

Notre étude a pour objectif d'évaluer l'efficacité d'un entraînement à la perception de la parole dans le bruit chez un groupe expérimental d'adultes sourds postlinguaux appareillés et/ ou implantés cochléaires. Ces personnes ont été suivies ponctuellement durant 3 mois, à raison de 6 séances au total ; à partir d'un matériel linguistique varié (mots, phrases, textes, bruits divers, musique et chansons). Pour mesurer l'évolution de leurs performances, une séance de pré-test et de post-test ont été incluses dans l'expérimentation.

Neuf patients constituant le groupe expérimental se sont investis dans cet exercice. Un pré-test et un post-test vont comparer leurs performances qui seront également comparées à celles d'un groupe témoin équivalent d'individus sourds.

Les hypothèses basées sur les données de la partie théorique sont les suivantes. Il est attendu :

- Une amélioration des scores entre le pré-test et le post-test pour tous les participants du groupe expérimental.
- Une absence d'évolution significative des scores entre le pré-test et le post-test pour les groupes contrôles.
- Une amélioration des performances du groupe expérimental supérieure à celle observée dans le groupe contrôle.

2. Population de sujets

2.1. Groupe expérimental

Le groupe expérimental est constitué de 9 adultes sourds postlinguaux, suivis au centre d'audiophonologie des cliniques universitaires de Saint-Luc (Bruxelles – Belgique) dans le cadre de leur surdité et de leur appareillage. La constitution de ce groupe s'est faite sur la base de leur motivation à suivre un entraînement dans le bruit. Ce sont toutefois des

patients pour lesquels les logopèdes du centre audiophonologique de Saint-Luc ont jugé que les séances traditionnelles dans le calme donnaient des résultats satisfaisants pour commencer un entraînement dans le bruit, estimé bénéfique dans leurs cas. Aucun critère d'inclusion ni d'exclusion n'a réellement été déterminé. La seule condition était leur accord pour participer à ce mémoire et leur présence aux différentes séances.

2.2. Groupe contrôle de sujets sourds

Les sujets contrôles sourds ont initialement été sélectionnés afin d'être appariés avec les sujets du groupe expérimental. Les critères de sélection étaient donc l'âge, l'appareillage, le sexe ainsi que le niveau de compétence auditive général. Toutefois, face à la difficulté de tenir compte des nombreuses variables séparant les sujets, il a été convenu de ne pas chercher à appairer un à un les sujets du groupe expérimental avec un sujet contrôle, mais bien d'obtenir deux groupes de sujets d'âges équivalents ayant des compétences auditives de base proches.

Au cours de l'étude, un sujet sourd du groupe contrôle a été exclu en raison de ses trop nombreuses comorbidités et une hospitalisation. Trois sujets sourds n'ont pas pu être disponibles pour réaliser le post-test, et un sujet a décidé d'arrêter l'expérimentation au cours de l'étude. Ce groupe contrôle final est constitué de 7 adultes sourds appareillés et/ou implantés.

2.3. Groupe contrôle de sujets entendants

Les sujets entendants du groupe contrôle ont été recrutés via le service de bénévolat des cliniques universitaires de Saint-Luc, le partage de l'annonce au sein de collectivités regroupant des personnes âgées ainsi que via le bouche-à-oreille et la proximité géographique (voisinage).

Ce groupe était constitué de 10 sujets normo-entendants, dont l'âge se situait entre 60 et 80 ans. Leur audition a été contrôlée par l'application de dépistage Höra, proposant un test dans le bruit. Ce test, appelé DIN (Digits-in-noise test, ou test des triplets de chiffre), propose 23 trios de chiffres énoncés par une voix francophone féminine, présentés avec un bruit de fond dont l'intensité varie selon les réponses de l'utilisateur. Cette évaluation

a l'avantage d'être rapide, gratuite, vérifiée scientifiquement et corrélée avec les scores en audiométrie tonale. Elle ne nécessite par ailleurs pas d'appareils calibrés ni de cabine insonorisée. Les résultats sont donnés par un score sur 100 et un seuil d'intelligibilité dans le bruit (SIB50), représentant le seuil pour lequel l'individu comprend 50% des triplets de chiffres (Ceccato et al., 2021). Sur base de cette application de dépistage, un sujet testé a été exclu du groupe contrôle, du fait de ses scores déficitaires.

Des données supplémentaires sur les participants ont été recueillies et sont disponibles en annexe 4. Le tableau 5 reprend la répartition des sujets au sein des groupes selon l'âge et le sexe.

Tableau 5 : Répartition des participants selon le groupe et l'âge

Groupe	20 à 40 ans	41 à 50 ans	51 à 60 ans	61 à 70 ans	71 à 80 ans
Expérimental	1	0	1	6	1
Contrôle sourd	1	1	1	1	3
Contrôle entendant	0	0	2	6	2

3. Procédure

3.1. Pré-test

Le pré-test pour le groupe expérimental s'est tenu en groupe complet le 19 octobre 2023 au centre d'audiophonologie des cliniques universitaires de Saint-Luc, dans la salle de réunion dans laquelle les séances ainsi que le post-test ont aussi été réalisés. Les séances de pré-test pour les groupes expérimentaux se sont déroulées individuellement ou par duos entre janvier et mars 2024, dans des bureaux du centre d'audiophonologie de Saint-Luc ou dans des auditoriums de l'UCLouvain.

Le pré-test comprenait 4 tâches et la passation d'un questionnaire : tous les documents relatifs à ce post-test se trouvent en annexes 5 et 6. Ce pré-test visait à évaluer 4 compétences relatives à la perception de la parole en situation d'écoute difficile, qui ont été travaillées durant les séances d'entraînement. Ces compétences sont les suivantes : la perception de la parole dans la musique, la perception de la parole dans le bruit, la localisation de la voix dans l'espace et l'écoute dichotique.

La première tâche a pour but d'évaluer la compréhension de la parole dans la musique. L'exercice consiste à compléter le texte des paroles d'une chanson française, présentée deux fois. La chanson choisie est « On aimerait », du duo de femmes françaises nommé « Les Frangines ». Cette chanson répond à plusieurs critères préétablis :

- Chanson francophone
- Bonne élocution des chanteuses, paroles compréhensibles par un individu normo-entendant, débit modéré
- Accompagnement musical progressif (léger puis enrichi)
- Mots manquants non devinables sur seule base d'inférences ; une certaine poésie dans le texte
- Thème universel, non clivant
- Chanson peu connue pour éviter la suppléance mentale du « par cœur »
- Mots manquants de natures variées (articles, substantifs, adjectifs, verbes) et à différentes positions au sein des phrases

La seconde tâche est un test de compréhension dans le bruit, développé au centre d'audiophonologie de Saint-Luc depuis plusieurs années. Il se compose de 9 listes de 10 mots bisyllabiques des listes de Fournier, prononcés par une voix féminine. Le bruit qui est émis en fond, est un bruit de type « cocktail-party » : selon les listes, le rapport signal-bruit varie de -9dB à +9dB, par pas de 3dB entre les listes. Dans ce post-test, seules les trois premières listes ont été proposées, avec des RSB de +9dB, +6dB et +3dB (la parole avait une intensité sonore supérieure à celle du bruit dans toutes ces listes) (Barbet, 2019).

La troisième tâche vise à évaluer les capacités de localisation dans l'espace d'une voix. Un extrait du podcast « Mamies dans les orties : Lucienne – entre terre et mer » est passé sur une enceinte mobile, placée à 3 endroits différents dans la pièce de passation. Les

sujets doivent indiquer à l'aveugle l'emplacement de l'enceinte par désignation manuelle et retranscrire ceci sur la fiche de réponse.

La dernière tâche cible l'évaluation de la capacité à dissocier les perceptions auditives de chaque oreille. Cet exercice d'écoute dichotique nécessite un casque binaural (utilisé pour les groupes contrôle) ou deux personnes situées aux opposés d'une pièce, à la perpendiculaire des sujets (groupe expérimental). Lors de cette écoute dichotique, 3 séries de deux mots différents sont présentés simultanément au participant, un dans chaque oreille / un de chaque côté. Les mots sont des noms communs fréquents, bisyllabiques. Les phonèmes n'ont pas pu être tous repris dans ces essais, mais nous avons cherché à retrouver des sons consonnes de fréquences variées (plus aiguës : [t], [ʃ] ; moyennes : [b] ; plus graves : [m], [n]) et de différents modes articulatoires (plosives [p], [b] et fricatives [v], [z], [ʒ]), voisés ou non. Les voyelles sont aussi diversifiées : orales ([a], [i]) ou nasales ([ɔ̃]), avec différentes apertures. Pour chaque groupe de sujets, les mots étaient prononcés par deux voix féminines, enregistrées pour les groupes contrôle et en direct pour le groupe expérimental.

Enfin, la passation du pré-test se clôture par un questionnaire appréhendant le ressenti subjectif du sujet quant à sa perception auditive quotidienne, sa compréhension de la parole dans diverses situations, ses compétences en localisation spatiale, sa pratique musicale et l'écoute de chansons. Les réponses sont données sur une échelle de Likert, allant de 0 à 10. Plus les scores à ce questionnaire sont élevés, plus le patient exprime se sentir à l'aise dans les situations d'écoute décrites. Ce questionnaire permet par ailleurs de récolter des informations générales sur l'individu : son âge, son métier, son appareillage... qui seront croisées avec les informations reprises dans le dossier médical du patient accessible au centre d'audiophonologie de Saint-Luc.

3.2.Post-test

Le post-test est construit de la même manière que le pré-test et contient le même nombre d'épreuves. La tâche de localisation dans l'espace et le test de compréhension de mots dans le bruit sont similaires entre les deux sessions de test. Le questionnaire est quasi identique entre ces deux séances. Les documents relatifs à ce post-test se trouvent en annexes 7 et 8.

La chanson choisie pour ce post-test est chantée par les mêmes artistes, « Les Frangines » et s'intitule « La ballade du cœur ». Elle répond aux mêmes critères que la chanson du pré-test et permet une comparaison plus juste entre ces deux tests, en conservant les mêmes voix et le même style musical.

L'écoute dichotique est construite de manière similaire à celle du pré-test. Les items choisis sont des noms communs fréquents bisyllabiques, proches phonologiquement de ceux du pré-test.

Le tableau 6 reprend les dates précises des pré-test et post-test pour chacun des individus, ainsi que l'intervalle en nombre de semaines séparant ces deux événements. En raison de contraintes logistiques et pratiques, les intervalles entre les pré et post-tests se trouvent très variables et vraisemblablement inégaux, ce qui peut constituer une limite à l'interprétation des données. De même, certains post-tests ont été réalisés à distance, via Teams, pour des raisons pratiques de disponibilité (BELE24, LOMI26).

Tableau 6 : Dates des pré et post-test, ainsi que l'intervalle séparant ces deux dates.

Code Sujet	Pré-test	Post-test	Intervalle
Groupe expérimental	19 octobre	12 décembre	9 semaines
HUAN11	28 décembre	27 février	9 semaines
BOFR12	27 décembre	27 février	9 semaines
DEET13	4 janvier	4 mars	9 semaines
INMY14	11 janvier	14 mars	9 semaines
HAPA15	12 janvier	8 mars	8 semaines
LEMA16	18 janvier	7 mars	7 semaines
GECH17	22 janvier	4 mars	6 semaines
BRMA18	22 janvier	4 mars	6 semaines
DEJE19	6 février	26 avril	11 semaines
CAAL20	4 mars	26 avril	8 semaines
HASO23	15 janvier	21 mars	10 semaines
BELE24	15 janvier	20 mars	10 semaines
LESY25	1 ^{er} février	7 mars	5 semaines
LOMI26	9 février	25 avril	11 semaines
COMO27	15 février	28 mars	6 semaines
DUAN29	16 février	26 mars	6 semaines
CAJE30	16 février	25 avril	6 semaines

3.3.Cotation des tests

La cotation des réponses aux tâches du pré-test et du post-test est décrite dans le tableau 7.

Tableau 7 : Cotation des tâches de pré-test et de post-test.

Tâches	Cotation
Chanson	Score pour les mots : 1 point par mot correctement reconnu - pré-test : total de 23 mots - post-test : total de 27 mots Score pour les phonèmes : 1 point par phonème correctement perçu, même mal placé au sein du mot - pré-test : total de 104 phonèmes - post-test : total de 74 mots Les scores ont été convertis en pourcentages afin de permettre une comparaison plus juste entre le pré-test et le post-test
Test dans le bruit	Cotation prévue par le test (voir Barbet, 2019) Comparaison aux données normatives des différentes tranches d'âge, score donné en écart-type
Localisation dans l'espace	5 points : « désigné le même endroit que la cible » 4 points : « Désigné un endroit proche de celui de la cible (< 30° de différence) » 3 points : « désigné un endroit écarté à 90° environ de celui de la cible » 2 points : « désigné un endroit opposé à celui de la cible (> 90° de différence) » 1 point : « vous n'avez pas réussi à percevoir d'où provenait le son » Cotation individuelle mais vérifiée par l'examineur
Écoute dichotique	Mots : 1 point par mot entièrement et correctement reconnu Localisation : 1 point par mot correct ou proche de celui effectivement produit du côté attendu (si ambiguïté, pas de point)

	Les scores pour les mots et la localisation du mot ont été totalisés : les participants peuvent avoir 8 points maximum pour ce score. Phonèmes : 1 point par phonème correctement perçu, même mal placé au sein du mot - pré-test : total de 17 ou 21 phonèmes (selon l'orientation gauche-droite de la tête ou des enceintes) - post-test : total de 20 ou 22 phonèmes Les scores ont été convertis en pourcentages afin de permettre une comparaison plus juste entre le pré-test et le post-test
Questionnaire	<u>Score « Conversations »</u> : addition des scores aux échelles des questions du point 2. « Vie quotidienne & bruit ; écoute de la voix ». Inversion des scores de l'échelle à la question 2 Non inclusion de la question sur la fréquence de visionnage de la télévision <u>Score « Espace »</u> : addition des scores aux échelles des questions du point 3. « Perception dans l'espace » <u>Score « Habitudes d'écoute musicale »</u> : addition des scores aux échelles des 2 premières questions du point 4. « Musique » <u>Score « Compréhension chansons »</u> : addition des scores aux échelles des 2 dernières questions du point 4. « Musique »

3.4. Matériel

Pour les séances avec les participants sourds, le son était transmis par des enceintes doubles permettant une perception stéréo, disposées face aux participants et branchées par fil à un ordinateur portable. Les participants étaient installés en arc de cercle autour de ces enceintes.

Pour les séances avec les participants entendants, le son était transmis par une enceinte mobile JBL Go 3, connectée par Bluetooth au même ordinateur. Cette même enceinte servait aux exercices de localisation dans l'espace pour tous les groupes.

Les séances se sont déroulées, pour le groupe expérimental, dans une grande salle de réunion du centre d'audiophonologie de Saint-Luc, et pour le groupe contrôle avec les sujets sourds, dans les bureaux de ce même centre. Les sujets entendants ont été accueillis

au sein d'auditoires de taille moyenne (environ 30 places) de l'UCL, sur le campus de Louvain-la-Neuve.

4. Séances d'entraînement à la perception de la parole dans le bruit

4.1. Généralités

Les séances d'entraînement se sont déroulées entre octobre et décembre 2023, au sein du centre d'audiophonologie des cliniques universitaires de Saint-Luc. Le tableau 8 reprend les dates des séances et la présence des participants. Les croix signalent les absences.

Tableau 8 : Tableau récapitulatif des séances d'entraînement à la perception dans le bruit : dates et présences.

Code Sujet	Séance 1 26/10	Séance 2 9/11	Séance 3 16/11	Séance 4 30/11	Séance 5 14/12	Séance 6 21/12
DESO01	O	X	O	O	X	O
CODO02	O	O	O	O	O	O
HUAN03	O	O	O	X	O	O
VEVI04	O	O	O	X	O	O
NECH05	O	O	O	O	O	O
VEMA06	O	O	O	X	X	X
LAAN07	O	O	O	O	X	O
CAMA08	O	O	O	X	X	O
DECA09	O	O	O	O	O	O

Certains exercices ont été proposés à distance lorsque les patients ne pouvaient être présents sur place, notamment les exercices de compréhension de la parole dans des chansons ou dans du bruit. Les exercices de localisation dans l'espace, de conversations croisées et d'écoute dichotique n'ont évidemment pas pu être réalisés dans cette condition de distanciel.

Une séance supplémentaire a été proposée le 23 novembre à deux patients présents au centre ce jour-là : CAMA08 et DECA09. Cette séance sera appelée dans la suite de ce mémoire « Séance bis ».

Ces séances, d'une durée d'une heure, s'organisaient autour des 4 compétences, reprises dans les pré et post-tests :

- La compréhension de la parole dans la musique et dans des chansons
- La compréhension de la parole dans le bruit
- La localisation dans l'espace de la parole
- L'écoute dichotique (la dissociation des perceptions auditives gauche et droite)

Dans la mesure du possible, chaque séance devait comporter au moins un exercice entraînant chacune des compétences. Le nombre d'exercices selon le type de compétence travaillée est repris dans le tableau 9, pour chaque séance.

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des types d'exercices proposés par séances.

Type d'exercice	Séance 1 26/10	Séance 2 9/11	Séance 3 16/11	Séance bis 23/11	Séance 4 30/11	Séance 5 14/12	Séance 6 21/12	Total
Chansons	2	2	2	1	2	2	2	13
Bruit	1	1	2	3	1	0	0	8
Espace	1	1	1	1	1	1	0	6
Dichotique	1	1	1	0	0	1	0	4

D'autres exercices ciblant la reconnaissance de voix, la reconnaissance de bruits du quotidien ou encore la reconnaissance de genres musicaux ont été proposés.

Tous les documents relatifs aux séances se trouvent en annexes 9 à 15.

4.2. Progression au fil des séances

4.2.1. Perception de la parole dans la musique & les chansons

La progression pour entraîner cette compétence est la suivante. Les chansons étaient d'abord a cappella, puis avec un accompagnement musical léger (guitare, percussions) et enfin, un accompagnement musical plus fourni et riche. Les modalités de réponse lors de ces exercices étaient variées : complétion d'un texte à trous avec ou sans propositions de réponse, correction des paroles à l'écrit, détermination du thème commun à un ensemble

d'extraits de chansons, repérage d'un ou plusieurs mots cibles au sein d'extraits de chansons, reconnaissance de voix de chanteurs/chanteuses.

Tableau 10: Tableau des exercices autour de la perception de la parole dans la musique par séance.

Séances	Exercices autour de la perception de la parole dans la musique
Séance 1	Complétion d'un texte à trous des paroles de la chanson « Le Merle, de Vox Angeli », reprise a cappella, voix féminine Complétion d'un tableau avec le numéro de l'extrait à côté de la voix du chanteur / chanteuse reconnu.e
Séance 2	Correction des paroles de la chanson « À la claire fontaine », présentée avec un bruit de fond coloré à -5dB Relève du nom de couleur compris au sein de plusieurs extraits musicaux, de chansons principalement connues
Séance 3	Complétion d'un texte à trous des paroles de la chanson « Heureux qui comme Ulysse », de Brassens, avec accompagnement léger et très bonne articulation Comptage du nombre d'extraits différents de chansons de Jacques Brel
Séance bis	Correction des paroles de la chanson « Partons vite », de Kaolin, reprise avec accompagnement léger à la guitare, voix féminine Comptage du nombre d'extraits différents de chansons de Jean-Jacques Goldman
Séance 4	Relève des noms de villes connues compris au sein de plusieurs extraits musicaux Complétion d'un texte à trous des paroles de la chanson « La belle étoile », de Mazarin avec accompagnement léger et très bonne articulation
Séance 5	Complétion d'un texte à trous des paroles de la chanson « La vie m'suffit », de Vianney & Jean-Louis Aubert, accompagnement moyen, diction rapide Relève des prénoms connus compris au sein de plusieurs extraits musicaux
Séance 6	Relève des noms de fleurs connues compris au sein de plusieurs extraits musicaux Identification de genres musicaux

4.2.2. Perception de la parole dans le bruit

Le bruit a évolué au cours des séances, en type (d'abord bruit coloré, puis bruit de type « cocktail ») et en intensité (rapport signal-bruit graduel au fil des séances, adaptatif selon les réponses des sujets).

Tableau 11 : Tableau des exercices autour de la perception de la parole dans le bruit par séance.

Séances	Exercices autour de la perception de la parole dans le bruit
Séance 1	Réalisation de consignes sur base d'un dessin ; bruit de fond stable coloré
Séance 2	Complétion d'une recette de cuisine avec éléments manquants (texte à trous) ; bruit de fond stable coloré
Séance 3	Complétion d'informations pour deux rendez-vous, avec bruit de fond stable coloré : un rendez-vous complété avec la feuille et les informations manquantes à disposition durant l'écoute ; le second sans avoir la feuille réponse durant l'écoute
Séance bis	Complétion d'une recette de cuisine avec éléments manquants (texte à trous) ; bruit de fond stable coloré Réalisation de consignes sur base d'un dessin, avec bruit de fond linguistique (ambiance de terrasse de café)
Séance 4	Complétion des rendez-vous de la semaine dans un agenda ; bruit de fond linguistique d'ambiance, à -3dB pour la 1 ^{ère} écoute, puis sans bruit pour la 2 ^{nde} 2 conversations croisées par paires

4.2.3. Perception de la parole dans l'espace

La perception de la parole dans l'espace a débuté par un exercice qui avait pour objectif de montrer l'utilité de capter l'environnement sonore par les deux oreilles pour mieux situer la source, en retirant l'appareillage d'un côté, puis de l'autre, et enfin en conservant les deux (adapté à chaque patient). Avant de situer la parole dans l'espace, les exercices proposaient de chercher l'emplacement d'un bruit du quotidien et de le reconnaître.

L'exercice repris en séances 3, 4, 5 et bis mélange la perception dans l'espace, dans le bruit et la reconnaissance de voix. Il consistait à ce que chaque participant répète en boucle un même mot, simultanément avec les autres sujets : les participants devaient relever le maximum de mots compris. En séance 3 et bis, les patients pouvaient s'aider de la lecture labiale, puis celle-ci était interdite lors des séances suivantes. Les mots pouvaient avoir un point commun (relever du même thème : boissons, pays ou bien commencer par le même phonème [p] et [f]) mais ils pouvaient aussi être aléatoirement choisis.

4.2.4. Écoute dichotique

La difficulté des exercices d'écoute dichotique a suivi une progression au fil des séances comme décrite dans le tableau 12.

Tableau 12 : Tableau des exercices d'écoute dichotique par séance.

Séances	Exercices d'écoute dichotique
Séance 1	Percussions : reconnaître les 2 instruments choisis, savoir les situer à gauche et à droite, trouver celui joué 3 fois quand l'autre est joué 2 fois
Séance 2	Percussions : reconnaître les 2 instruments choisis, savoir les situer à gauche et à droite, trouver celui joué 2 fois quand l'autre est joué 3 fois
Séance 3	Mots n'ayant pas le même nombre de syllabes, ayant peu de voisins phonologiques et très distincts
Séance 5	Mots ayant le même nombre de syllabes, ayant peu de voisins phonologiques et partageant des phonèmes communs

4.3. Encodage des données

Les données des post-tests, des pré-tests et des séances ont été encodées dans un fichier Excel à plusieurs feuillets, protégé par un mot de passe. Elles ont été anonymisées en attribuant à chaque patient un code unique.

4.4. Comité d'éthique

Le comité d'éthique hospitalo-facultaire de Saint Luc-UCL a validé le design expérimental de cette étude (2023/06NOV/443, numéro B4032023000110) le 19 décembre 2023.

Les participants ont tous donné leur accord pour participer à cette étude, en signant un document d'information et de consentement.

RÉSULTATS

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) version 27. Cette plateforme logicielle permet de réaliser des analyses statistiques complexes sur des données.

Ce travail statistique cherche à valider les hypothèses de recherche. Sont attendus :

- une amélioration des performances entre le pré-test et le post-test pour le groupe expérimental,
- une absence d'évolution des performances pour les groupes contrôles
- des progrès plus importants du groupe expérimental par rapport aux groupes contrôles.

La normalité des données a été vérifiée au moyen du test de Kolmogorov-Smirnov, du test de Shapiro-Wilk et du coefficient d'asymétrie (annexe 16). Comme attendu, étant donné le petit nombre de sujets, la majorité des données ne présentent pas une distribution normale : de ce fait, des tests non paramétriques sont utilisés pour les analyses statistiques.

L'hypothèse H_0 correspond à l'hypothèse nulle : il n'y a pas de différence entre les paramètres comparés ou la différence observée n'est pas significative. L'hypothèse H_1 est l'hypothèse alternative, qui postule d'une différence significative entre les paramètres.

La p-valeur est la probabilité d'une différence égale ou plus grande à celle observée si cette différence n'existe pas réellement dans la population. Elle est fixée à 0,05 pour rejeter l'hypothèse H_0 , avec un risque d'erreur de 5%. Elle est parfois ajustée en fonction du nombre de comparaisons effectuées.

1. Présentation des groupes

Les groupes expérimental, contrôle sourd et contrôle normo-entendant ont été construits de manière à être comparables, en termes d'âge, d'environnement familial, de seuils auditifs et d'appareillage (tableau 13).

Tableau 13: Présentation des groupes selon le sexe, l'âge, l'environnement familial, les seuils auditifs et l'appareillage

Variables	Groupe expérimental	Groupe contrôle sourd	Groupe contrôle entendant	Comparaison inter-groupe Test de Kruskal-Wallis
Sexe	N = 9 8 F ; 1 H	N = 7 6 F ; 1 H	N = 10 6 F ; 4 H	$\chi = 0.551$; $p > 0,05$
Âge (ans)	Méd = 65	Méd = 61	Méd = 65	$\chi = 2.542$; $p > 0,05$
Environnement familial				$\chi = 1.063$; $p > 0,05$
- Seul (e)	N = 2	N = 1	N = 3	
- Avec conjoint (e)	N = 5	N = 2	N = 5	
- En famille avec enfants	N = 2	N = 4	N = 2	
Seuils auditifs	Cfr figures 5 à 8		$\bar{X}$ SIB50 = - 15,3dB	Entre les 2 groupes sourds $p > 0,05$
Appareillage				
- AA seul & oreille sourde	N = 1	N = 0		Entre les trois groupes
- 2 AA	N = 2	N = 3		$\chi = 21.135$; $p < 0,01$
- IC seul & oreille sourde	N = 0	N = 1		Entre les 2 groupes sourds
- 2 IC	N = 1	N = 2		Test de Mann-Whitney
- IC + AA	N = 5	N = 4		$U = 14.5$; $p > 0,017^1$
- Pas d'appareillage	N = 0	N = 0	N = 10	

¹ La p-valeur a été adaptée selon le nombre de comparaisons réalisées. Ici, les trois groupes de sujets ont été comparés 2 à 2, il y a donc 3 comparaisons. P-valeur = $0.05/3 = 0.017$

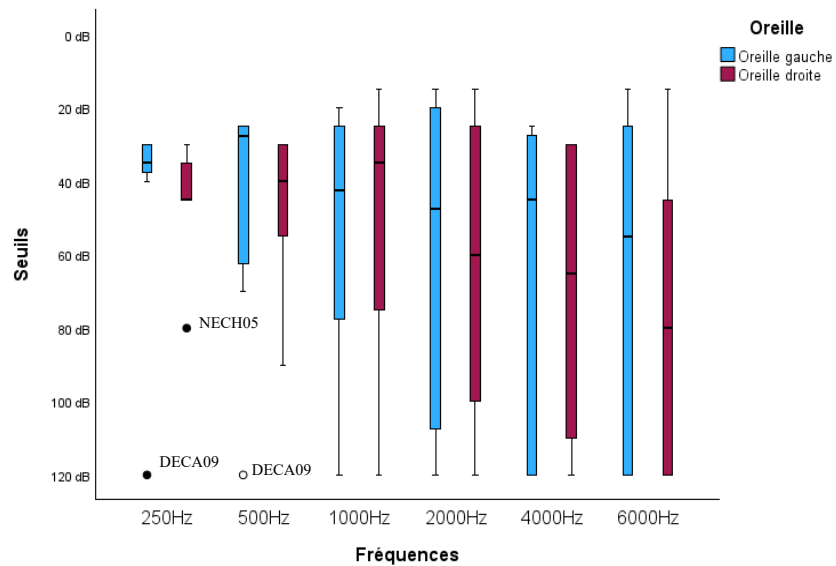


Figure 4 : Boxplot des seuils audiométriques avec appareillage du groupe expérimental

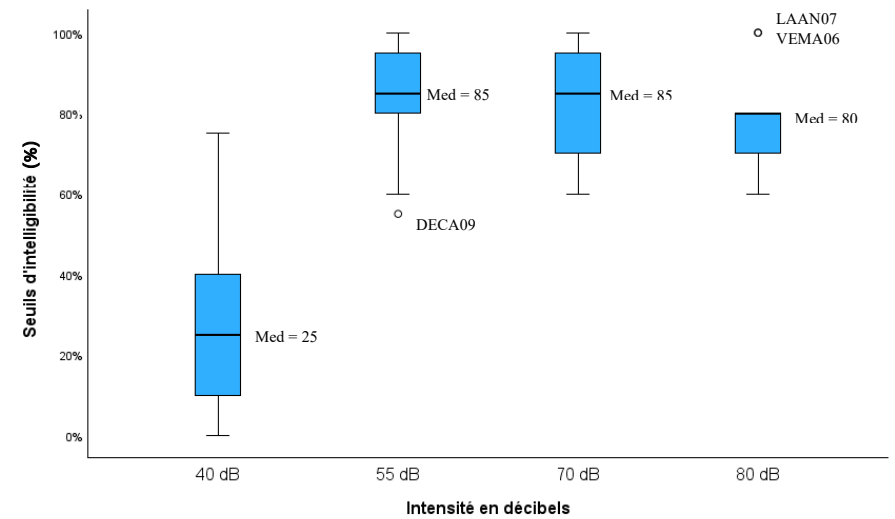


Figure 5 : Boxplot des seuils d'intelligibilité en audiométrie vocale du groupe expérimental

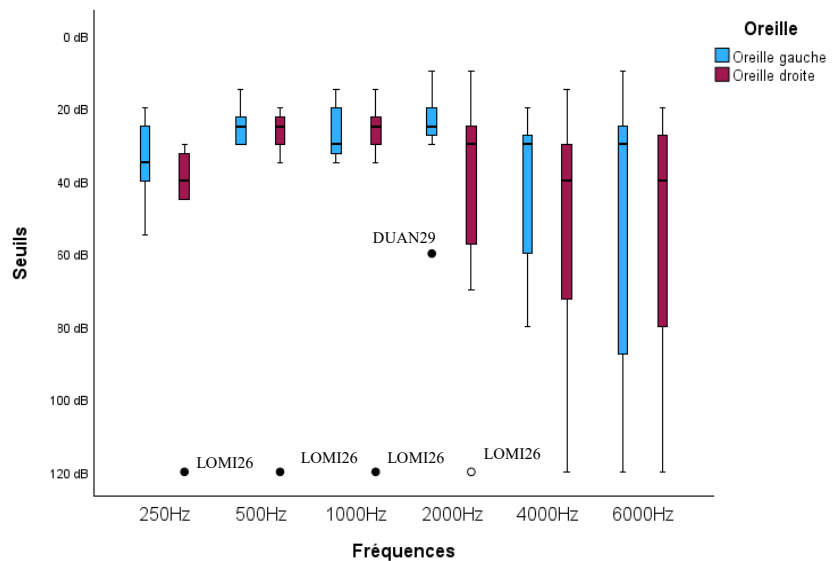


Figure 6 : Boxplot des seuils audiométriques avec appareillage du groupe contrôle sourd

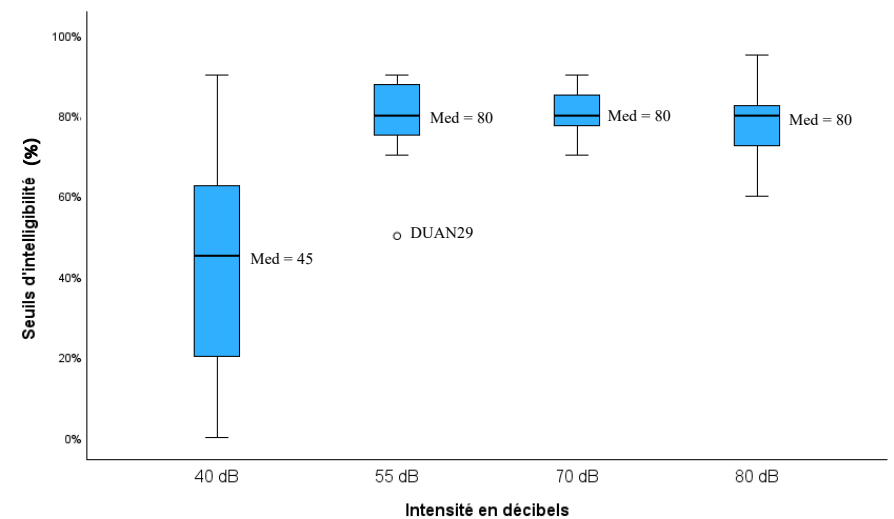


Figure 8 : Boxplot des seuils d'intelligibilité en audiométrie vocale du groupe contrôle sourd

Dans chaque groupe de patients sourds, nous trouvons un sujet cophotique (DECA09 = groupe expérimental ; LOMI26 = groupe contrôle), dont les valeurs visibles sur les boxplots sont extrêmes.

Si on retire les données des oreilles cophotiques de ces 2 sujets, les seuils auditifs en audiométrie tonale à 500Hz diffèrent significativement entre le groupe contrôle sourd (Méd = 25dB) et le groupe expérimental (Méd = 40dB), $U = 3,0$; $p < 0,01$.

Les sujets expérimentaux ont des scores médians en audiométrie vocale supérieurs à 80% pour les intensités 55dB, 70dB et 80dB² : cela constitue une base de perception satisfaisante dans le calme pour débiter un entraînement dans le bruit.

***Conclusion :** Les trois groupes sont équivalents en termes d'âge, de sexe et d'environnement familial. Les 2 groupes de participants sourds sont équivalents au niveau de l'appareillage et des seuils auditifs. Ces derniers présentent des capacités de compréhension dans le calme avoisinant les 80% aux intensités 55, 70 et 80 dB SPL.*

2. Comparaison des scores en pré-test & post-test

Des tests non paramétriques de Wilcoxon pour deux variables liées ont été réalisés. Ils comparent les performances entre le pré-test et le post-test pour une même variable, chez une même personne. Les résultats sont présentés pour chaque groupe séparément.

Ces tests statistiques ont pour objectif de répondre à l'hypothèse d'une amélioration des performances pour le groupe expérimental et d'une absence d'évolution des scores pour les groupes contrôles, entre les deux sessions de tests.

² Le seuil d'intelligibilité à 40dB SPL, qui correspond à la voix chuchotée, est globalement plus compliqué pour les patients implantés cochléaires (Wathour, 2022).

2.1. Groupes

2.1.1. Groupe expérimental

Les scores du groupe expérimental, pour chaque paire de variables testée, dans les **tâches de perception dans le bruit, dans une chanson, en écoute dichotique et dans le questionnaire de ressenti** ne diffèrent pas significativement entre le pré-test et le post-test ($p > 0,05$).

Contrairement à la localisation spatiale où une différence significative est observée entre le pré-test (Med = 14) et le post-test (Med = 12). $Z = -2,328$; $p < 0,05$.

2.1.2. Groupe contrôle sourd

Aucun des scores du groupe contrôle sourd ne diffère significativement entre le pré-test et le post-test. Les ressentis exprimés dans le questionnaire, mais aussi après la tâche d'écoute de chanson et de localisation dans l'espace, ne sont pas significativement différents entre les deux sessions de test ($p > 0,05$).

2.1.3. Groupe contrôle entendant

Aucune différence significative n'est observée pour une grande majorité des scores du groupe contrôle entendant entre le pré-test et le post-test ($p > 0,05$).

Toutefois, les scores en conversation et en compréhension de chansons exprimés dans le questionnaire diffèrent significativement entre le pré-test et le post-test.

En conversation dans le bruit, 8 individus ont un score supérieur par rapport au post-test ($z = -2.04$; $p < 0.05$).

En compréhension de paroles de chanson, les scores diminuent pour 7 participants entre le pré-test et le post-test ($z = -2.379$; $p < 0.017$).

2.2. Analyse qualitative et individuelle de l'évolution des scores du groupe expérimental

Le tableau 14 met en évidence les évolutions observées pour chaque variable, entre le pré-test et le post-test, pour chaque individu. Une flèche ascendante montre une amélioration des scores, une flèche descendante montre une dégradation des scores et une flèche horizontale signale un statu quo entre les deux sessions de test. Nous observons une grande hétérogénéité de nombre d'améliorations relevées entre les participants (2 à 11 scores améliorés).

Les tâches sur lesquelles les patients sont plus nombreux à avoir progressé sont :

- La perception des phonèmes dans le bruit
- La perception de mots et de phonèmes dans le bruit

A contrario, peu de sujets ont progressé en localisation spatiale et en perception de mots en écoute dichotique.

Conclusion : *Il n'y a pas d'amélioration significative pour le groupe expérimental entre les deux sessions de tests, ce qui est contraire à l'hypothèse avancée. Aucune évolution n'est relevée chez les groupes contrôles, comme attendu.*

Tableau 14 : Évolution des scores sur les variables du pré-test et du post-test pour chaque participant du groupe expérimental

Code Sujet	Bruit Mots Liste 1	Bruit Phonèmes Liste 1	Bruit Mots Liste 2	Bruit Phonèmes Liste 2	Bruit Mots Liste 3	Bruit Phonèmes Liste 3	Chanson Mots	Chanson Phonèmes	Chanson Ressenti	Localisation Espace Score	Localisation Espace Ressenti	Écoute Dichotique Mots	Écoute Dichotique Phonèmes	Total ↑
DESO01	→	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	→	↓	↓	↑	↑	9
CODO02	→	↓	→	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↓	→	↑	↑	5
HUAN03	→	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	5
VEVI04	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↑	10
NECH05	↑	↑	↓	↓	↓	→	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑	7
VEMA06	→	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	11
LAAN07	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	→	↓	↓	3
CAMA08	↓	↓	↓	↓	→	↑	↑	↓	↑	↓	→	→	↑	4
DECA09	↑	↑	→	↓	↓	↓	↓	↓	↓	→	→	.	.	2
Totaux ↑	3	6	4	5	4	5	6	5	6	1	2	3	6	

3. Différences de performances inter-groupes

Cette partie présente les tests statistiques évaluant les différences d'évolution entre les groupes. Ils cherchent à répondre à l'hypothèse d'une amélioration accrue des scores pour les participants du groupe expérimental en comparaison aux groupes contrôles.

La majorité des scores d'évolution ne diffèrent pas significativement entre les trois groupes ($p > 0,05$). Deux différences significatives d'évolution sont néanmoins observées. Des comparaisons de groupes 2 à 2 ont été réalisées, avec un test de Mann-Whitney. Le tableau 15 synthétise ces statistiques.

Tableau 15 : Comparaison des évolutions inter-groupes

Comparaison des évolutions inter-groupes	Perception de mots Liste 3 dans le bruit	Perception de phonèmes Écoute dichotique
Différence entre les 3 groupes <i>Test de Kruskal-Wallis</i>	$\chi = 6.131$ $p < 0.05$	$\chi = 6.141$ $p < 0.05$
Expérimental & contrôle sourd <i>Test de Mann-Whitney</i>	Pas de différence significative ($p > 0,05$)	Pas de différence significative ($p > 0,05$)
Expérimental & contrôle entendant <i>Test de Mann-Whitney</i>	Pas de différence significative ($p > 0,05$)	Différence non significative, après correction de la p-valeur $U = 16$; $p > 0.017$
Contrôle sourd & contrôle entendant <i>Test de Mann-Whitney</i>	Différence significative $U = 9.5$; $p < 0.017$ ↑ 6 sujets entendants VS ↑ 1 sujet sourd	Pas de différence significative ($p > 0,05$)

DISCUSSION

1. Résultats

Présentation des groupes : Les groupes formés sont comparables sur un grand nombre de variables et correspondent à l'objectif qui était d'avoir trois groupes équivalents en âge, sexe et environnement familial. L'appariement des individus sourds entre les deux groupes est aussi adéquat, avec des seuils auditifs et des appareillages comparables.

Nous reprenons ici les hypothèses afin d'établir si elles ont été vérifiées par les analyses statistiques.

Hypothèse 1 : Les performances du groupe expérimental s'améliorent entre le pré-test et le post-test. Cette hypothèse n'a pas été vérifiée, les scores n'étant pas statistiquement différents entre les deux sessions de tests, pour tous les groupes. Les limites présentées plus clairement ci-après cherchent à expliquer pourquoi aucune amélioration quantitative n'a été observée.

Hypothèse 2 : Aucune évolution n'est observée dans les scores des groupes contrôles entre le pré-test et le post-test. Cette hypothèse a été vérifiée : les deux groupes contrôles ne se sont pas améliorés entre les deux sessions de tests, comme attendu. Leurs scores ont été stables.

Hypothèse 3 : L'amélioration des scores du groupe expérimental est supérieure à celle observée dans le groupe contrôle des patients sourds. Cette hypothèse n'a pas été vérifiée puisqu'aucune évolution n'a été relevée entre les deux sessions de tests pour les deux groupes : les sujets expérimentaux n'ont donc pas mieux progressé que les sujets sourds n'ayant pas bénéficié des séances. La différence observée sur la variable « perception de phonèmes - écoute dichotique » s'explique par l'effet plafond : les entendants obtiennent en grande majorité les scores maximums à cette tâche et aucune progression ne peut être mise en évidence.

2. Progression au sein du groupe expérimental

Le tableau 14 montre des progressions très variables entre les sujets du groupe expérimental (entre 2 à 11 variables améliorées). Cette partie cherche à expliquer les facteurs à l'origine de ces différences.

Le tableau 16 présente les caractéristiques intéressantes et potentiellement explicatives des résultats des patients, présentés dans l'ordre décroissant de progression (du patient ayant progressé sur le plus de variables à celui ayant progressé sur peu de variables).

Tableau 16 : Caractéristiques des sujets expérimentaux, selon leur ordre de progression

Code Sujet	Âge	Appareillage	Pratique musicale	Environnement familial	Moyenne des seuils OG	Moyenne des seuils OD
HEMA06	32	2 AA	27 ans d'instrument	Avec parents et conjoint	-63	-56
VEVI04	63	1 IC et 1 AA	4 ans d'instrument	Avec conjoint	-89	-26
DESO01	57	1 IC et 1 AA	10 ans d'instrument	Avec enfants	-32	-93
NECH05	78	1 IC et 1 AA	/	Avec conjoint	-22	-108
CODO02	68	2 AA	/	Avec enfants	-80	-71
HUAN03	61	1 IC et 1 AA	47 ans d'instrument	Avec conjoint	-90	-23
CAMA08	69	2 IC	5 ans d'instrument	Seule	-30	-32
LAAN07	65	1 IC et 1 AA	/	Seule	-98	-49
DECA09	65	1 AA et oreille sourde	20 ans de chant	Avec conjoint	-120	-56

Il est difficile de déterminer un seul facteur pouvant expliquer les meilleures progressions de certains patients. Les pistes explicatives à explorer plus précisément, sur base d'un échantillon plus important sont les suivantes.

- L'appareillage ne semble pas déterminant. L'appareil auditif, comparativement à l'implant cochléaire, permet une meilleure perception dans le bruit en offrant une audition acoustique plus naturelle (Cfr partie théorique 3). Dans notre étude, les patients ayant le mieux progressé ont au moins un appareil auditif. Dès lors, l'IC ne nuit pas à cette compréhension.

- Les sujets ayant les meilleurs scores dans le bruit au pré-test (NECH05, VEVI04 et LAAN07) ont eu des progressions différentes : VEVI04 a progressé sur 10 variables, NECH05 sur 7 variables et LAAN07 sur seulement 3 variables. Les scores initiaux ne sont donc pas explicatifs de la progression.
- L'environnement familial quotidien pourrait jouer, les deux personnes vivant seules ayant moins progressé. Une stimulation quotidienne complèterait l'entraînement mené durant ces séances.
- L'âge est un facteur potentiellement explicatif : les 3 patients les plus jeunes sont ceux ayant le plus progressé. La plasticité cérébrale diminuerait avec l'âge, cette observation semble donc fiable.
- La pratique musicale ne semble pas avoir d'effet. Néanmoins, les données récoltées ne permettent pas de distinguer les sujets ayant une pratique actuelle de la musique de ceux en ayant eue dans le passé, ni ceux écoutant activement de la musique avec une certaine appétence pour cet art de ceux qui en écoutent passivement pour « baigner » dans un environnement sonore. Ces distinctions seraient pourtant intéressantes à creuser pour expliquer les résultats.

Au vu du faible échantillon, les explications avancées sont à prendre avec circonspection et devraient faire l'objet d'une étude plus complète. Les sujets ayant le plus progressé possèdent quelques caractéristiques pouvant expliquer ces résultats, détaillées ci-dessous.

HEMA06 est jeune, avec une très bonne audition dans le calme, bien que les scores en audiométrie tonale ne le démontrent pas. Elle a l'habitude du bruit, travaillant dans un environnement très sonore. Elle porte depuis plus de 10 ans ses appareils. Les séances lui ont semblé faciles, avec des effets plafonds sur certains exercices. Elle a obtenu les meilleurs scores au pré-test en chanson et en écoute dichotique.

VEVI04 est appareillé depuis longtemps et implanté depuis 2019 : il tire un grand bénéfice de son implant et a une bonne compréhension dans le calme.

DESO01 a, en parallèle de ces séances, un suivi logopédique hebdomadaire où la compréhension dans le bruit est aussi travaillée.

Trois sujets ayant peu progressé (CAMA08, CODO02 et DECA09) n'obtiennent pas plus de 70% de mots correctement perçus en audiométrie vocale, à toutes les intensités. Leurs scores dans le calme sont donc déjà assez faibles : les difficultés sont accrues dans le bruit et la progression plus difficile.

3. Critiques méthodologiques

3.1. Échantillonnage

Le faible échantillon de notre étude limite l'interprétation des résultats. Il est complexe de tenir compte de tous les facteurs affectant les performances auditives (histoire de la surdité, étiologie, appareillage, suppléance mentale, pratique musicale...) et de trouver des participants sourds disponibles et correspondant aux critères définis pour participer à ce type d'étude. Dans l'idéal, on devrait tenir compte d'autres variables pouvant influencer les résultats : le QI, le niveau langagier et cognitif, l'état de vigilance lors des séances. Les participants pouvaient ne pas être dans un état optimal pour révéler le meilleur de leurs capacités.

Le parti pris de notre expérimentation était de travailler avec l'appareillage quotidien, pour un entraînement plus écologique. Il serait intéressant de proposer cet entraînement à un groupe de patients exclusivement appareillés, et à un groupe de patients exclusivement implantés. Cela permettrait de clarifier la place du type d'appareillage dans la progression.

Ces limites sont représentatives de la réalité clinique. Les patients ont des capacités auditives très différentes, ainsi qu'une grande variabilité dans leur histoire et leur réponse à un entraînement. Leurs performances auditives varient selon les réglages de leurs prothèses. Sur une période de plusieurs semaines, la surdité peut se dégrader et les réglages doivent être modifiés. Les groupes ont été formés au mieux avec la population à disposition.

Les sujets expérimentaux étaient motivés pour participer aux séances, ils possèdent peut-être déjà intrinsèquement des caractéristiques qui les distinguent des groupes témoins.

Ceci reste à creuser. Cela constitue un biais de sélection, mais révèle aussi que les sujets motivés ont tendance à s'exercer davantage. Il est alors intéressant de travailler sur la motivation des patients pour conduire à un entraînement auditif efficace.

3.2. Pré-test & post-test

Pour parfaire ce travail, il serait intéressant de prévoir des séances de contrôle pour observer l'évolution à long terme et de vérifier la généralisation à une autre compétence non entraînée. Le questionnaire de post-test pour le groupe expérimental gagnerait à être plus précis, en y intégrant des questions ciblées sur les bénéfices qualitatifs des séances perçus par les participants. Comme le mentionne Stropahl et al. (2019), des améliorations qualitatives liées à la qualité de vie ou à la confiance en soi des sujets peuvent être remarquées, sans obtenir d'améliorations significatives quantitatives. Il serait intéressant aussi d'obtenir l'avis de l'entourage sur les bénéfices perçus après la participation aux séances.

Une limite méthodologique réside dans les conditions de passation des pré-tests et des post-tests. Pour le groupe expérimental, ceux-ci se sont déroulés en groupe complet, de 9 personnes. Le suivi de la bonne compréhension des consignes et des exercices est limité par le nombre de sujets, tandis que les séances individuelles ou en duos pour les groupes contrôles permettent une meilleure évaluation de leurs compétences, en offrant un cadre optimal, une réponse facilitée à leurs questions, une adaptation à leur vitesse de réponse...

Chez le groupe contrôle entendant, une diminution des scores au questionnaire de ressenti est observée, entre le pré-test et le post-test (Cfr 2.1.3 dans les résultats). Ces scores sont subjectifs : ils ne révèlent pas forcément une diminution clinique de l'audition. Ils signifient que les participants entendants ont davantage prêté attention à leurs difficultés auditives entre le pré-test et le post-test, et se sont ainsi décrits comme plus en difficultés au post-test.

3.3. Séances

Les séances ont cherché à être agréables pour les participants en s'adaptant du mieux possible aux niveaux de chacun (effet plafond et effet plancher observables pour certains exercices), en variant le matériel linguistique, les bruits utilisés, le type d'exercice et les compétences (localisation dans l'espace, dissociation des perceptions binaurales, perception de la parole chantée...). Aucun aspect précis n'a été intensément renforcé, ce qui pourrait expliquer l'absence de significativité des résultats. Les études présentées dans le paragraphe 6 de la partie théorique s'attachent à entraîner un élément spécifique qui - par son amélioration - permet l'augmentation des scores en compréhension dans le bruit, ce qui n'était pas notre choix. Notre volonté était de proposer une variété d'exercices, pour rendre les séances agréables et offrir plusieurs pistes d'entraînement. Le matériel devait être perçu comme directement efficace et utile au quotidien. De ce fait, nous survolons chaque compétence sans répétition intensive.

Les sujets expérimentaux ont très peu progressé sur deux compétences : la localisation spatiale et l'écoute dichotique. Ces deux éléments ont aussi été moins entraînés durant les séances (Cfr tableau 9). La répétition est vectrice de plasticité cérébrale : le peu de répétition sur ces exercices explique en partie la moins grande progression.

Le fait que les résultats soient non significatifs soulève la question des limites de l'entraînement : le degré de surdité et les limites de l'appareillage empêchent-ils toute progression à partir d'un certain stade, et l'entraînement est-il alors vain ? Ou bien une répétition intense de l'exercice peut-elle entraîner sa réussite, quel que soit le niveau de compétence auditive et d'appareillage du patient ?

L'absence de résultats significatifs ne dit pas que l'intervention n'est pas efficace. Celle-ci a pu ne pas être assez prolongée et intensive pour observer des effets, ou bien les outils pour mesurer la progression n'étaient pas adaptés et ne permettaient pas de mettre en évidence l'évolution des participants.

L'inclusion d'une même tâche dans le calme, puis dans le bruit, aurait permis de relever les capacités auditives des sujets dans le silence et de les comparer avec un bruit de fond.

Il est plus intéressant de comparer une personne à elle-même, puisque le but de l'entraînement est la progression personnelle de chacun. Certains sujets de l'étude étaient peut-être déjà en difficulté dans le calme : il faut, dans ce cas, proposer un entraînement dans le bruit – qui est absolument nécessaire – très progressif.

4. Critiques du matériel

Les exercices en séances ont été de difficulté croissante, comme décrits dans la partie méthodologie. La difficulté a été déterminée subjectivement, par des professionnels entendants : il n'est pas toujours aisé pour un entendant de cerner la complexité d'un exercice pour un individu sourd. Ce serait un travail en soi de tester en amont les performances de sujets sourds sur ce matériel pour en évaluer la difficulté.

Les performances auditives sont influencées par l'environnement spatial. L'expérimentation a utilisé des enceintes diverses pouvant avoir une qualité sonore variable. Les participants n'ont pas passé les séances dans les mêmes locaux : la réverbération des salles, leur acoustique et le positionnement du sujet par rapport à la source sonore peuvent influencer les résultats. Ces variations peuvent être bénéfiques pour habituer les personnes sourdes à percevoir la parole dans des milieux sonores très variés, et seraient un autre sujet d'étude à expérimenter.

5. Apports

Bien que les résultats statistiques ne démontrent pas d'amélioration significative des performances dans le bruit, cette étude a permis de relever l'utilité des séances d'entraînement effectuées en groupe. L'effet de groupe mérite d'être approfondi en vérifiant son impact dans les performances, puisqu'il pourrait avoir un effet thérapeutique en lui-même. Une expérimentation distinguant un entraînement individuel d'un entraînement en groupe permettrait d'isoler l'effet de ce dernier. Le groupe permet des rencontres entre patients sourds qui partagent les mêmes difficultés. Les séances leur ont aussi donné des clés d'entraînement réalisables au quotidien (écoute de chansons, reconnaissance et localisation de bruits, suivi de conversations croisées...), elles les ont sensibilisés à l'importance d'entraîner leurs capacités auditives.

Sur les 9 participants du groupe expérimental, 5 pensent participer à d'autres séances de ce type si cela leur est proposé et tous recommanderaient ces séances à d'autres adultes sourds. Les principales raisons relevées sont :

- Apprendre à se faire confiance
- Estimer ses difficultés, prendre conscience de son niveau de perception dans le bruit
- Être stimulé, conserver ses compétences auditives
- Bénéficier d'un cadre bienveillant durant les séances
- Rencontrer d'autres participants confrontés aux mêmes difficultés, et ne pas s'exclure d'un groupe d'échange comme c'est généralement le cas au quotidien pour ces personnes

Certains participants disent écouter plus de chansons qu'avant les séances et avoir pris conscience des perceptions différenciées de chaque oreille.

Une participante confie que ces séances ont relancé la question de l'implantation à laquelle elle est réticente, par la rencontre avec d'autres adultes implantés et la prise de conscience des limites de son appareillage actuel.

6. Analyse des exercices

L'intérêt de cette étude est aussi de procéder à une analyse critique des exercices utilisés durant les séances d'entraînement. Cette analyse se base sur les retours des sujets expérimentaux ainsi que sur le ressenti des expérimentateurs, en termes d'utilité, de difficulté, d'appropriation dans la vie quotidienne et d'agréabilité à réaliser.

Le tableau 17 reprend certains exercices utilisés en séances et une réflexion à propos de leur pertinence.

Tableau 17: Analyse critique des exercices utilisés en séances

Exercices	Priorité	Ressenti des patients	Utilité dans la vie quotidienne	Remarques & ressenti de l'expérimentateur
Complétion d'un texte à trous des paroles d'une chanson	Moyenne	Exercice difficile, nécessite d'avoir une chanson avec un débit de parole ralenti pour suivre Avis très variable selon les habitudes d'écoute musicale et son agréabilité pour le patient	Facilement réutilisable à domicile, entraînement autonome possible Renouer avec l'écoute de la musique	Choisir judicieusement les chansons : porter une grande attention au débit et à l'articulation Privilégier des chansons a cappella ou avec accompagnement léger : la difficulté est déjà majeure, il vaut mieux éviter les accompagnements trop chargés
Reconnaissance de mots en liste fermée au sein d'extraits de chansons	Faible	Moins énergivore, concentration ciblée sur les mots de la liste fermée	Intérêt plus restreint, ne demande pas une compréhension globale : les patients sont rarement amenés dans la vie quotidienne à devoir percevoir des informations très ciblées connues à l'avance (pas de liste fermée dans les échanges naturels)	Exercice intéressant pour mettre les patients en confiance et renouer avec de la musique Permet de faire écouter des extraits de styles très divers, mais attention, cela demande une certaine flexibilité et adaptation aux passages d'une musique à l'autre qui n'est pas toujours évidente à gérer Il permet aussi de reconnaître des paroles de chansons connues, souvent écoutées avant la perte auditive

Consignes diverses avec un bruit de fond	Élevée	Encourageant, il est rare de ne rien percevoir du tout dans ce genre d'exercice	Très écologique : c'est une tâche quotidienne de relever les informations importantes d'un discours dans un environnement bruyant Possibilité d'utiliser une grande variété de bruits de fond (restaurant, gare, vent, cour de récréation...)	Utiliser un matériel concret, du quotidien : suscite plus de motivation (prise de rendez-vous dans un agenda, recette de cuisine...) Adaptation facile de la difficulté par modification du RSB en direct, par rapport aux réponses du patient
Conversations croisées	Élevée	Ludique, agréable, effort cognitif limité	Très écologique : confrontation directe dans la vie quotidienne à des discussions simultanées, qu'il faut suivre ou animer Entraîne l'attention sélective	Plaisant et agréable, permet aux patients d'échanger entre eux et de se sentir compétents dans les interactions, suscite de la motivation Complexité croissante selon le nombre de conversations simultanées : demande un nombre important de participants
Mots simultanés	Élevée	Difficile	Entraîne de nombreuses compétences utiles pour gérer les interactions dans la vie quotidienne : localisation spatiale de voix, lecture labiale (ou pas), déplacement de son attention d'un sujet à un autre...	Prêter attention au placement des participants : mettre les sujets les plus en difficultés au « centre » des échanges, pour qu'ils puissent en percevoir le maximum Permettre la lecture labiale au début de l'entraînement pour mettre les participants en confiance ; choisir des mots d'un même thème pour s'appuyer sur la suppléance mentale et guider la perception dans cet exercice difficile

Écoute dichotique	Moyenne	Très difficile Manque d'intérêt si ce ne sont pas des éléments linguistiques (les essais avec des instruments étaient peu encourageants pour les patients)	Intérêt limité dans la vie quotidienne, mais cet exercice permet de conscientiser les différences interaurales et sert de base à la localisation spatiale. Aide à focaliser son attention sur une discussion localisée spatialement	Au vu de sa difficulté, cette compétence nécessite un grand nombre d'entraînements Assez difficile à mettre en place en grand groupe (selon le positionnement des participants) Commencer l'exercice en liste fermée, avec des mots très fréquents, pour complexifier peu à peu le matériel linguistique
Localisation spatiale	Moyenne	Intéressant car rarement travaillé en séances individuelles et, car cette compétence est rarement conscientisée Peu encourageant pour les patients ayant une perte auditive profonde unilatérale	Important pour la sécurité : repérer d'où vient un bruit de véhicule approchant par exemple Important pour le démasquage spatial (voir partie théorique 1.4.)	Facile à mettre en place

La diversité des exercices offre un travail global et agréable, en variant les tâches et les stimuli auditifs. Selon leur intérêt et leur application dans la vie quotidienne, ils ont des degrés de priorité différents. Leur choix doit se faire selon les besoins des patients, dans le but de répondre aux difficultés de compréhension majeures de leur quotidien. Chaque exercice doit être le plus écologique possible : certains, comme la perception de mots dans une liste fermée, ne sont ainsi pas les plus pertinents. Ils font cependant partie d'exercices mettant le patient en confiance pour débiter l'entraînement et susciter sa motivation pour des exercices plus complexes.

L'entraînement pourrait inclure des exercices plus actifs, demandant une compréhension et une réponse adéquate (comme écouter une histoire qu'il faudrait raconter à nouveau, répondre à des questions ciblées, remettre une histoire en images dans l'ordre, etc.).

7. Comparaison à d'autres études

Plusieurs études, présentées dans l'introduction théorique, obtiennent des résultats significatifs en perception de la parole dans le bruit à la suite de l'entraînement proposé à des adultes. Comment expliquer la différence de résultats entre ces études et la nôtre ?

Une première piste explicative serait la durée et l'intensité de l'entraînement. Notre expérimentation comptabilise 6 heures d'entraînement, étalées sur 3 mois (environ 40min/semaine), ce qui contraste avec le nombre d'heures par semaine beaucoup plus élevé des autres expérimentations (entre 1h30 à 3h30 par semaine). L'intervalle entre le pré-test et le post-test, et l'intensité de l'entraînement entre ces deux tests semblent influencer les résultats.

Une seconde hypothèse concerne la population d'étude. Les participants sont parfois plus jeunes et ont donc une plus grande plasticité cérébrale. Les sujets sourds prélinguaux sont plus habitués aux signaux transmis par l'implant cochléaire, grâce à la longue durée d'usage. Certaines études évaluent la progression dans le bruit chez des adultes normo-entendants.

Les modalités de l'entraînement diffèrent entre les études : elles choisissent toutes de cibler un exercice ou une compétence précise. L'exercice de cette aptitude est donc intensif et répété. L'entraînement que nous avons proposé était général : il entraînait directement la compétence visée (la perception de la parole dans le bruit) mais aussi d'autres habiletés reliées (localisation dans l'espace, perception de chansons...), tout cela sur peu de séances distantes dans le temps. L'entraînement moins soutenu ne permet peut-être pas d'obtenir de résultats similaires à des études plus denses.

Une hypothèse est le type de matériel utilisé pour évaluer la progression en pré-test, en post-test. Certaines tâches de pré-test et post-test pouvaient être plus sensibles pour rendre compte de la progression des sujets (comme une procédure adaptative du rapport signal-bruit, dans Green et al., 2019).

La mesure d'autres caractéristiques personnelles dont nous n'avons pas tenu compte ont pu impacter les résultats : QI, mémoire de travail et à court terme (Zendel et al., 2019), critère d'inclusion selon les scores de perception dans le calme (Green et al., 2019), critères d'exclusion sur les compétences cognitives (Buganim et al., 2019 ; Lofti et al., 2020 ; Zendel et al., 2019).

Enfin, l'effet de groupe peut apporter en lui-même des effets qui n'ont pas été investigués. Dans le cas de notre étude, le groupe permet des rencontres bienveillantes et le partage d'expérience, augmentant la motivation à participer à ces entraînements. Le groupe permet aussi la mise en place d'exercices plus écologiques, comme des conversations croisées. Il offre de plus larges possibilités d'entraînement et stimule plus intensément les patients que lors de séances individuelles.

Comme le mentionnent Bieber & Gordon-Salant (2021), la comparaison entre les études reste difficile à cause de grandes différences méthodologiques (espacement et durée de la formation, conception et objectif de l'étude, population, type de bruit et définition du rapport signal/bruit, etc.). Les hypothèses avancées peuvent expliquer en partie les différences de résultats et pourraient être davantage investiguées.

CONCLUSION

Cette exploration du sujet de la perception de la parole dans le bruit chez des adultes sourds met en évidence de nombreux leviers d'action pour améliorer cette compétence.

L'expérimentation – bien que n'ayant pas donné de résultats quantitatifs significatifs – est prometteuse, par les bénéfices qualitatifs qu'elle offre et par les moyens d'améliorer la méthodologie pour la rendre plus sensible aux progrès. Ce travail présente plusieurs biais qui sont finalement riches d'enseignement pour les patients et les spécialistes de la surdité. Si la nécessité d'entraîner la parole dans le bruit n'est plus à démontrer, cette expérience apporte une méthode pour réaliser cet entraînement et des exercices sur lesquels se baser.

Cette expérimentation mériterait d'être prolongée. La compréhension dans le bruit est une compétence complexe, requérant de nombreux processus et influencée par divers facteurs, comme décrits dans la partie théorique. Il semble que proposer 6 séances n'est pas suffisant pour observer des améliorations pour cette faculté multidimensionnelle. Rendre cet apprentissage plus régulier et intensif est une piste pour observer une évolution significative.

Les recherches autour de ce sujet doivent se poursuivre, pour donner aux professionnels des éléments sur lesquels s'appuyer pour construire leur entraînement auditif et pour l'adapter aux caractéristiques de chaque patient. Quelques pistes d'influence de l'efficacité d'un entraînement dans le bruit peuvent être investiguées :

- La motivation des participants, et comment la susciter
- L'effet d'un entraînement en groupe
- L'importance de la répétition d'un même exercice pour précisément renforcer la plasticité cérébrale
- Le choix d'activités proches de la vie réelle et des conditions de vie de chaque individu (quels milieux bruyants fréquente-t-il : rue, restaurants, fond musical, etc.)

- L'explication aux patients des difficultés dans le bruit et du bénéfice d'un entraînement, afin qu'ils comprennent les processus en jeu, que cela donne un sens concret à l'entraînement et suscite leur motivation
- La conception de cet entraînement comme un outil à utiliser quotidiennement et non comme une parenthèse de quelques heures
- Construire l'entraînement en partant des plaintes ou des besoins des patients

Il découle de ce mémoire un ensemble de recommandations et des propositions d'exercices passés au crible de la critique pour mener à bien un entraînement dans le bruit, utilisable par les professionnels.

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification des degrés de surdité.....	21
Tableau 2 : Tableau comparatif des appareils auditifs et des implants cochléaires	32
Tableau 3 : Tableau des tests français d'évaluation de la perception de la parole dans le bruit.	34
Tableau 4 : Programmes d'entraînement à la perception de la parole dans le bruit.	43
Tableau 5 : Répartition des participants selon le groupe et l'âge	49
Tableau 6 : Dates des pré et post-test, ainsi que l'intervalle séparant ces deux dates.	52
Tableau 7 : Cotation des tâches de pré-test et de post-test.	53
Tableau 8 : Tableau récapitulatif des séances d'entraînement à la perception dans le bruit : dates et présences.	55
Tableau 9 : Tableau récapitulatif des types d'exercices proposés par séances.	56
Tableau 10: Tableau des exercices autour de la perception de la parole dans la musique par séance.	57
Tableau 11 : Tableau des exercices autour de la perception de la parole dans le bruit par séance.	58
Tableau 12 : Tableau des exercices d'écoute dichotique par séance.	59
Tableau 13: Présentation des groupes selon le sexe, l'âge, l'environnement familial, les seuils auditifs et l'appareillage.....	61
Tableau 14 : �volution des scores sur les variables du pré-test et du post-test pour chaque participant du groupe expérimental	66

Tableau 15 : Comparaison des évolutions inter-groupes	67
Tableau 16 : Caractéristiques des sujets expérimentaux, selon leur ordre de progression	69
Tableau 17: Analyse critique des exercices utilisés en séances	76

TABLE DES FIGURES & ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Schéma de l'enveloppe temporelle et de la structure temporelle fine d'un son	12
Figure 3 : Triangle vocalique reprenant les sons voyelles.	13
Figure 2 : Tableau des sons consonantiques.....	13
Figure 4 : Les styles d'aides auditives.	23
Figure 5 : Boxplot des seuils audiométriques avec appareillage du groupe expérimental	62
Figure 6 : Boxplot des seuils d'intelligibilité en audiométrie vocale du groupe expérimental.....	62
Figure 7 : Boxplot des seuils audiométriques avec appareillage du groupe contrôle sourd	62
Figure 8 : Boxplot des seuils d'intelligibilité en audiométrie vocale du groupe contrôle sourd.....	62

BIBLIOGRAPHIE

- Alhabib, S. F., Abdelsamad, Y., Badghaish, R., Alzhrani, F., Hagr, A., & Almuhawwas, F. (2021). Cochlear implant : More hearing better speech performance. *International Journal Of Pediatric Otorhinolaryngology*, 150, 110896. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2021.110896>
- Alzaher, M., Vannson, N., Déguine, O., Marx, M., Barone, P., & Strelnikov, K. (2021). Brain plasticity and hearing disorders. *Revue Neurologique*, 177(9), 1121-1132. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2021.09.004>
- Ambert-Dahan, E. (2020). Cognition et attention. Dans S. Borel & J. Leybaert, *Surdités de l'enfant et de l'adulte : Bilans et interventions orthophoniques*. (p. 247-252). De Boeck. <https://www.cairn-sciences.info/surdites-de-l-enfant-et-de-l-adulte--9782807323216.htm>
- Ambert-Dahan, E. (2020). Déclin cognitif et auditif. Dans S. Borel & J. Leybaert, *Surdités de l'enfant et de l'adulte : Bilans et interventions orthophoniques*. (p. 215-218). De Boeck. <https://www.cairn-sciences.info/surdites-de-l-enfant-et-de-l-adulte--9782807323216.htm>
- Ashori, M. (2020). Speech intelligibility and auditory perception of pre-school children with Hearing Aid, cochlear implant and Typical Hearing. *Journal Of Otology*, 15(2), 62-66. <https://doi.org/10.1016/j.joto.2019.11.001>
- Azéma, B., & Rénard, C. (2008). Impact de la Perte Auditive sur la Perception de la Parole. Altérations Qualitatives. Dans *Elsevier eBooks* (p. 379-387). <https://doi.org/10.1016/b978-2-294-06342-8.50011-2>
- Badariya, M., Swathi, C., & Shameer, S. (2023). Estimation of efferent inhibition and speech in noise perception on vocal musicians and music sleepers : a Comparative

study. *Journal of Otology*, 18(2), 91-96.
<https://doi.org/10.1016/j.joto.2023.02.001>

Balkenhol, T., Wallhäußer-Franke, E., Rotter, N., & Servais, J. (2020). Cochlear Implant and Hearing Aid : Objective Measures of Binaural Benefit. *Frontiers In Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.586119>

Barbet, C. (2019). *Normalisation d'un test de compréhension dans le bruit auprès d'une population entendants* [Mémoire]. Université Catholique de Louvain.

Berthomieu, G. (2019). *Influence de la position d'une source sur le niveau sonore perçu* [Thèse, Université de Bretagne occidentale]. <https://theses.hal.science/tel-02469434v2>

Bescond, G., & Lefèvre, F. (2014, mars). Orthophonie et appareillage : quelle prise en charge pluridisciplinaire pour renforcer l'efficacité des aides auditives dans le bruit ? *Les Cahiers de L'audition*, 27, 21-23.

Bieber, R. E., & Gordon-Salant, S. (2021). Improving older adults' understanding of challenging speech : Auditory training, rapid adaptation and perceptual learning. *Hearing Research*, 402, 108054. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2020.108054>

Boite, R. (2000). *Traitement de la parole*. PPUR presses polytechniques.

Bologna, W. J., Molis, M. R., Madsen, B. M., & Billings, C. J. (2023). Effects of age on brainstem coding of speech glimpses in interrupted noise. *Hearing Research*, 434, 108771. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2023.108771>

Borel, S., & Ersnt, E. (2020). Démarche générale de l'évaluation de l'adulte présentant une surdité acquise. Dans S. Borel & J. Leybaert, *Surdités de l'enfant et de l'adulte : Bilans et interventions orthophoniques*. (p. 219-222). De Boeck.
<https://www.cairn-sciences.info/surdites-de-l-enfant-et-de-l-adulte--9782807323216.htm>

- Bourn, S., Goldstein, M. R., Morris, S. A., & Jacob, A. (2022). Cochlear implant outcomes in the very elderly. *American Journal of Otolaryngology*, 43(1), 103200. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2021.103200>
- Boyke, J., Driemeyer, J., Gaser, C., Büchel, C., & May, A. (2008). Training-Induced Brain Structure Changes in the Elderly. *The Journal Of Neuroscience*, 28(28), 7031-7035. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.0742-08.2008>
- Brisson, V. & Tremblay, P. (2023, 2 février). La perception de la parole : une faculté complexe. *Speechneurolab Blogue*. <https://speechneurolab.ca/la-perception-de-la-parole-une-faculte-complexe/>
- Bronkhorst, A. W. (2015). The cocktail-party problem revisited : early processing and selection of multi-talker speech. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 77(5), 1465-1487. <https://doi.org/10.3758/s13414-015-0882-9>
- Bugannim, Y., Roth, D. A., Zechoval, D., & Kishon-Rabin, L. (2019). Training of Speech Perception in Noise in Pre-Lingual Hearing Impaired Adults With Cochlear Implants Compared With Normal Hearing Adults. *Otology & Neurotology*, 40(3), e316-e325. <https://doi.org/10.1097/mao.0000000000002128>
- Bureau International d'Audiophonologie. (1997, 1 mai). *Classification audiométrique des déficiences auditives*. BIAP. Consulté le 13 mars 2024 sur <https://www.biap.org/en/component/content/article/65-recommendations/ct-2-classification/5-biap-recommendation-021-bis>
- Cambridge, G., Taylor, T. A. H., Arnott, W. L., & Wilson, W. J. (2022). Auditory training for adults with cochlear implants : a systematic review. *International Journal Of Audiology*, 61(11), 896-904. <https://doi.org/10.1080/14992027.2021.2014075>
- Carlyon, R. P., & Goehring, T. (2021). Cochlear Implant Research and Development in the Twenty-first Century : A Critical update. *Journal of the Association for*

Research in Otolaryngology, 22(5), 481-508. <https://doi.org/10.1007/s10162-021-00811-5>

Ceccato, J., Duran, M., Swanepoel, D. W., Smits, C., De Sousa, K. C., Gledhill, L. F., Venail, F., & Puel, J. (2021). French Version of the Antiphasic Digits-in-Noise Test for Smartplivohone Hearing Screening. *Frontiers In Public Health*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.725080>

Chen, F., Ni, W., Li, W., & Li, H. (2019). Cochlear Implantation and Rehabilitation. Dans *Advances in Experimental Medicine and Biology* (p. 129-144). https://doi.org/10.1007/978-981-13-6123-4_8

Cochlear. (2023, avril). *Improving listening in noise with ForwardFocus technology in Nucleus® sound processors* [Communiqué de presse].

Collège National d'Audioprothèse [CNA], Syndicat National de l'Audition Mutualiste [SYNAM], Syndicat National des Entreprises de l'Audition [SYNEA], & Syndicat National des Audioprothésistes [UNSAF]. (2017). *Déficits auditifs en France : livre blanc*. Consulté le 13 mars 2024, à l'adresse https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.acuite.fr/sites/acuite.fr/files/articles_pj/deficits_auditifs_en_france_-_livre_blanc_-_mars_2017.pdf&ved=2ahUKEwiuysu2so2FAxW-_gIHHVnSBaEQFnoECBEQAQ&usg=AOvVaw3w5iQ8oveVrX7DFTRjcOgd

D'Alessandro, H. D., Boyle, P. J., Portanova, G., & Mancini, P. (2021). Music Perception and speech Intelligibility in noise performance by Italian-speaking cochlear implant users. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 279(8), 3821-3829. <https://doi.org/10.1007/s00405-021-07103-x>

Davis, M. H., & Johnsrude, I. S. (2007). Hearing speech sounds : top-down influences on the interface between audition and speech perception. *Hearing Research*, 229(1-2), 132-147. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2007.01.014>

- Delerce, X., Gault, A., & Delande, J.-B. (2014, mars). Technologies et traitement du signal. Gestion de la parole en milieu bruyant par les aides auditives. *Les Cahiers de L'audition*, 27, 9-15.
- Dillon, H., Day, J. H., Bant, S., & Munro, K. J. (2020). Adoption, use and non-use of hearing aids : a robust estimate based on Welsh national survey statistics. *International Journal Of Audiology*, 59(8), 567-573.
<https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1773550>
- Djakoure, M.-J. (2017). *Évaluation d'un test d'audiométrie vocale rapide dans le bruit (VRB) par la mesure du rapport signal-sur-bruit* [Thèse, Université Lille 2].
https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpепite-depot.univ-lille.fr%2FLIBRE%2FTh_Medecine%2F2017%2F2017LIL2M194.pdf&psig=AOvVaw2EPuWfXrtdaRzbGhMKAnRU&ust=1707747847837000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjhXqFwoTCNCcodC-o4QDFQAAAAAdAAAAABAE
- Dornhoffer, J. R., Reddy, P., Ma, C., Schvartz-Leyzac, K. C., Dubno, J. R., & McRackan, T. R. (2021). Use of Auditory Training and Its Influence on Early Cochlear Implant Outcomes in Adults. *Otology & Neurotology*, 43(2), e165-e173.
<https://doi.org/10.1097/mao.00000000000003417>
- Dumont, A. (2008). *Orthophonie et surdité : communiquer, comprendre, parler*. Elsevier Masson.
- Dupont, M., & Lejeune, B. (2021). *Surdité et implant cochléaire : 650 exercices d'entraînement auditif*. Elsevier Health Sciences.
- Ernst, E. (2020).   coute complexe : bruit, localisation spatiale, interlocuteurs multiples. Dans S. Borel & J. Leybaert, *Surdités de l'enfant et de l'adulte : Bilans et interventions orthophoniques*. (p. 283-291). De Boeck. <https://www.cairn-sciences.info/surdites-de-l-enfant-et-de-l-adulte--9782807323216.htm>

- Farouk, M. H. (2017). Speech production and perception. Dans *Springer briefs in electrical and computer engineering* (p. 5-10). https://doi.org/10.1007/978-3-319-69002-5_2
- Fauvel, B., Groussard, M., Desgranges, B., & Platel, H. (2012). Pratique musicale et plasticité cérébrale : l'expertise musicale permet-elle de se préserver du vieillissement neurocognitif ? *Revue de Neuropsychologie, Neurosciences Cognitives et Cliniques*, 4(2), 131. <https://doi.org/10.3917/rne.042.0131>
- Fedorov, I., Stamenovic, M., Jensen, C., Yang, L., Mandell, A., Gan, Y., Mattina, M., & Whatmough, P. N. (2020). TINyLSTMS : Efficient Neural Speech Enhancement for Hearing AidS. *Interspeech*. <https://doi.org/10.21437/interspeech.2020-1864>
- Gallégo, S., & Collet, L. (2010). L'implant cochléaire : comment et pourquoi cela marche ? *ORL Autrement*, 9-23. https://www.academia.edu/download/41914369/Limplant_cochlaire__comment_et_pourquoi_20160202-30232-1tczrha.pdf
- Gallego, S., Colin, D., & Truy, E. (2015). Plasticité cérébrale et réhabilitation auditive de la presbycousie. *ORL Autrement*, d247e70a-711f-46b1-b7e3-58648d1981f9. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiB3KOU27yEAXWNgf0HHeV2AdgQFnoECBEQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F272644796_Plasticite_cerebrale_et_rehabilitation_auditive_de_la_presbycousie&usg=AOvVaw0Py5LxNsKPKVTRHQn_rSJP&opi=89978449
- Gao, X., Yan, T., Huang, T., Li, X., & Zhang, Y. (2020). Speech in noise perception improved by training fine auditory discrimination : far and applicable transfer of perceptual learning. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76295-9>

- Glick, H., & Sharma, A. (2020). Cortical Neuroplasticity and Cognitive Function in Early-Stage, Mild-Moderate Hearing Loss : Evidence of Neurocognitive Benefit From Hearing Aid Use. *Frontiers In Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00093>
- Graetzer, S., Barker, J., Cox, T. J., Akeroyd, M. A., Culling, J. F., Naylor, G., Porter, E., & Muñoz, R. V. (2021). Clarity-2021 Challenges : Machine Learning Challenges for advancing Hearing aid Processing. *Interspeech*. <https://doi.org/10.21437/interspeech.2021-1574>
- Green, T., Faulkner, A., & Rosen, S. (2019). Computer-Based Connected-Text Training of Speech-in-Noise Perception for Cochlear Implant Users. *Trends In Hearing*, 23, 233121651984387. <https://doi.org/10.1177/2331216519843878>
- Hecht, L. (2018, 21 juin). *Méthodologie en vue de l'élaboration d'un guide de bonnes pratiques pour la prise en charge orthophonique de patients adultes devenus sourds non implantés cochléaires*. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01828729>
- Helfer, K. S., & Jesse, A. (2021). Hearing and speech processing in midlife. *Hearing Research*, 402, 108097. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2020.108097>
- Hennessy, S., Mack, W. J., & Habibi, A. (2022). Speech-in-noise perception in Musicians and Non-musicians : A multi-level meta-analysis. *Hearing Research*, 416, 108442. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2022.108442>
- Hrncirik, F., Roberts, I., Sevgili, I., Swords, C., & Bance, M. (2023). Models of Cochlea Used in Cochlear Implant Research : A Review. *Annals Of Biomedical Engineering*, 51(7), 1390-1407. <https://doi.org/10.1007/s10439-023-03192-3>
- Illg, A., & Lenarz, T. (2022). Cochlear Implantation in Hearing-Impaired Elderly : Clinical Challenges and Opportunities to Optimize Outcome. *Frontiers In Neuroscience*, 16. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.887719>

- International Phonetic Association. (2021, 2 novembre). *La charte de l'alphabet phonétique international (API), édition de 2020, présentant les symboles phonétiques et leur description*. Wikimedia. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/Charte_API_2020_fr.pdf
- Jang, J. H., Mun, H. A., Choo, O., Park, H. Y., & Choung, Y. (2019). The speech perception after cochlear implantation : The hearing gain difference according to the implant systems is important ? *Auris Nasus Larynx*, 46(3), 330-334. <https://doi.org/10.1016/j.anl.2018.09.006>
- Jansen, N., Harding, E., Loerts, H., Başkent, D., & Lowie, W. (2023). The relation between musical abilities and speech prosody perception : A meta-analysis. *Journal Of Phonetics*, 101, 101278. <https://doi.org/10.1016/j.wocn.2023.101278>
- Kerber, S., & Seeber, B. (2012). Sound Localization in Noise by Normal-Hearing Listeners and Cochlear Implant Users. *Ear And Hearing*, 33(4), 445-457. <https://doi.org/10.1097/aud.0b013e318257607b>
- Kidd, G., & Colburn, H. S. (2017). Informational Masking in Speech Recognition. Dans *Springer handbook of auditory research* (p. 75-109). https://doi.org/10.1007/978-3-319-51662-2_4
- Kiliç, M., & Kara, E. (2023). Investigation of hearing aid users' speech understanding in noise and their spectral-temporal resolution skills. *Journal of Otology*, 18(3), 146-151. <https://doi.org/10.1016/j.joto.2023.04.001>
- Kim, J. H., Lee, S., & Cho, E. Y. (2021). A Systemic Review of the Auditory Training Program for Hearing Impairment. *Audiology And Speech Research*, 17(2), 134-146. <https://doi.org/10.21848/asr.200090>
- Kollmeier, B., Brand, T., & Meyer, B. T. (2008). Perception of speech and sound. Dans *Springer eBooks* (p. 61-82). https://doi.org/10.1007/978-3-540-49127-9_4

- Kressner, A. A., May, T., & Dau, T. (2019). Effect of noise reduction gain errors on simulated cochlear implant speech intelligibility. *Trends in Hearing*, 23, 233121651982593. <https://doi.org/10.1177/2331216519825930>
- Lagier, A. (2019). *Toute l'anatomie pour l'orthophonie : Parole, déglutition, audition, phonation*. De Boeck Supérieur.
- Lalitte, P. (2008). Aspects acoustique et sensoriel du bruit. *Filigrane*, 13-31. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00404484>
- Layer, N., Abdel-Latif, K. H. A., Radecke, J., Müller, V., Weglage, A., Lang-Roth, R., Walger, M., & Sandmann, P. (2023). Effects of noise and noise reduction on audiovisual speech perception in cochlear implant Users : an ERP study. *Clinical Neurophysiology*, 154, 141-156. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2023.07.009>
- Lefèvre, F. (2008). Impact de la Perte Auditive sur la Perception de la Parole. Dans *Elsevier eBooks* (p. 389-399). <https://doi.org/10.1016/b978-2-294-06342-8.50012-4>
- Legland, A. (2019). Perception audiovisuelle de la parole dans le bruit chez les adultes implantés cochléaires. *Sciences cognitives*, 27. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02284710>
- Lenarz, T., & Scheper, V. (2015). Preserving Residual Hearing in Cochlear Implant Patients. Dans *Oxidative stress in applied basic research and clinical practice* (p. 423-442). https://doi.org/10.1007/978-3-319-13473-4_20
- Lerousseau, J. P., Hidalgo, C., & Schön, D. (2020). Musical Training for Auditory Rehabilitation in Hearing Loss. *Journal Of Clinical Medicine*, 9(4), 1058. <https://doi.org/10.3390/jcm9041058>
- Li, M. M., Moberly, A. C., & Tamati, T. N. (2022). Factors affecting talker discrimination ability in adult cochlear implant users. *Journal of Communication Disorders*, 99, 106255. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2022.106255>

- Litovsky, R. Y., Goupell, M. J., Misurelli, S. M., & Kan, A. (2017). Hearing with Cochlear Implants and Hearing Aids in Complex Auditory Scenes. Dans *Springer handbook of auditory research* (p. 261-291). https://doi.org/10.1007/978-3-319-51662-2_10
- Lorenzi, C. (2012). Chapitre 4. La perception auditive : notions fondamentales et applications audiolologiques. Dans *Éditions de la Maison des sciences de l'homme eBooks* (p. 143-164). <https://doi.org/10.4000/books.editionsmsmh.14790>
- Lotfi, Y., Samadi-Qaleh-Juqy, Z., Moosavi, A., Sadjedi, H., & Bakhshi, E. (2020). The Effects of Spatial Auditory Training on Speech Perception in Noise in the Elderly. *DOAJ (DOAJ : Directory Of Open Access Journals)*. <https://doaj.org/article/d1a4bdfd22d948298c10fe87b90f9be4>
- Magits, S., Boon, E., De Meyere, L., Dierckx, A., Vermaete, E., Francart, T., Verhaert, N., Wouters, J., & Van Wieringen, A. (2022). Comparing the Outcomes of a Personalized Versus Nonpersonalized Home-Based Auditory Training Program for Cochlear Implant Users. *Ear And Hearing*, 44(3), 477-493. <https://doi.org/10.1097/aud.0000000000001295>
- Mahncke, H. W., Bronstone, A., & Merzenich, M. M. (2006). Brain plasticity and functional losses in the aged : scientific bases for a novel intervention. Dans *Progress in Brain Research* (p. 81-109). [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(06\)57006-2](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(06)57006-2)
- Maillard, E., Joyal, M., Murray, M. M., & Tremblay, P. (2023). Are musical activities associated with enhanced speech perception in noise in adults ? A Systematic review and Meta-analysis. *Current Research in Neurobiology*, 4, 100083. <https://doi.org/10.1016/j.crneur.2023.100083>

- McKay, C. M. (2021). No Evidence That Music Training Benefits Speech Perception in Hearing-Impaired Listeners : A Systematic Review. *Trends In Hearing*, 25, 233121652098567. <https://doi.org/10.1177/2331216520985678>
- Middlebrooks, J. C., & Simon, J. Z. (2017). Ear and Brain Mechanisms for Parsing the Auditory Scene. Dans *Springer handbook of auditory research* (p. 1-6). https://doi.org/10.1007/978-3-319-51662-2_1
- Munoz, S., & Lequien, V. (2022). Mieux accompagner les malentendants grâce aux aides auditives. *L'Aide Soignante*, 36(240), 17-19. <https://doi.org/10.1016/j.aidsoi.2022.08.006>
- Naples, J. G., & Ruckenstein, M. J. (2020). Cochlear implant. *Otolaryngologic Clinics Of North America*, 53(1), 87-102. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2019.09.004>
- Nascimento, L. T. D., & Bevilacqua, M. C. (2005). Evaluation of speech perception in noise in cochlear implanted adults. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 71(4), 432-438. [https://doi.org/10.1016/s1808-8694\(15\)31195-2](https://doi.org/10.1016/s1808-8694(15)31195-2)
- National Institute on Deafness and Other Communication Disorders. (2022, 11 octobre). *Hearing aids*. NIH. Consulté le 13 mars 2024, à l'adresse <https://www.nidcd.nih.gov/health/hearing-aids>
- Park, S., Park, K. H., & Han, W. (2023). The Effects of Music-Based Auditory Training on Hearing-Impaired Elderly with Mild Cognitive Impairment. *Clinical And Experimental Otorhinolaryngology*. <https://doi.org/10.21053/ceo.2023.00815>
- Perron, M. (2020). *Bases neurobiologiques de la perception de la parole dans le bruit chez les chanteurs et les non-chanteurs* [Mémoire, Université de Laval]. https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdam-oclc.bac-lac.gc.ca%2Fdownload%3Fis_thesis%3D1%26oclc_number%3D1202597792%26id%3D67679bf9-5c01-42d0-b18b-f0729afb9bb6%26fileName%3D36634.pdf&psig=AOvVaw1_8AjST-

8sJ9C0E7IzzTk9&ust=1707399465740000&source=images&cd=vfe&opi=8997
8449&ved=0CAYQn5wMahcKEwjw27fmrJmEAXUAAAAAHQAAAAAQBA

Pichora-Fuller, M. K., Alain, C., & Schneider, B. A. (2017). Older Adults at the Cocktail Party. Dans *Springer handbook of auditory research* (p. 227-259).
https://doi.org/10.1007/978-3-319-51662-2_9

Prat Dit Hauret, S., Mouton, L., & Borel, S. (2022). Revue systématique sur l'efficacité de la rééducation auprès des adultes présentant une surdité acquise. *Glossa*, 133, 78-105. <https://www.glossa.fr/index.php/glossa/article/view/1375/1509>

Prell, C. G. L., & Clavier, O. (2017). Effects of noise on speech recognition : Challenges for communication by service members. *Hearing Research*, 349, 76-89.
<https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.10.004>

Rennies, J., Best, V., Roverud, E., & Kidd, G. (2019). Energetic and informational components of Speech-on-Speech masking in binaural speech intelligibility and perceived listening effort. *Trends in Hearing*, 23, 233121651985459.
<https://doi.org/10.1177/2331216519854597>

ReSound. (s. d.). *Les bases des aides auditives*. Consulté le 13 mars 2024, à l'adresse
<https://www.resound.com/fr-fr/hearing-aids>

Reynard, P., Lagacé, J., Joly, C., Dodelé, L., Veuillet, E., & Thai-Van, H. (2021). Speech-in-Noise audiometry in Adults : A review of the available tests for French speakers. *Audiology and Neuro-otology*, 27(3), 185-199.
<https://doi.org/10.1159/000518968>

Ruthberg, J. S., Adhvaryu, V., Kocharyan, A., & Briggs, S. (2020). Cochlear implantation in the Elderly : Outcomes. *Operative Techniques in Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 31(3), 245-249. <https://doi.org/10.1016/j.otot.2020.07.010>

Savvas, E., Heslinga, K., Sundermann, B., Schwindt, W., Spiekermann, C., Koopmann, M., & Rudack, C. (2020). Prognostic factors in cochlear implantation in adults :

Determining central process integrity. *American Journal Of Otolaryngology*, 41(3), 102435. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2020.102435>

Schéma de l'oreille. (2022, 16 décembre). Cotral Lab. <https://www.cotral.fr/blog/prevention-risques-auditifs/le-fonctionnement-de-l-oreille-humaine.html>

Shader, M. J., Nguyen, N., Cleary, M., Hertzano, R., Eisenman, D. J., Anderson, S., Gordon-Salant, S., & Goupell, M. J. (2019). Effect of stimulation rate on speech understanding in older Cochlear-Implant users. *Ear and Hearing*, 41(3), 640-651. <https://doi.org/10.1097/aud.0000000000000793>

Sharma, S. D., Cushing, S. L., Papsin, B. C., & Gordon, K. A. (2020). Hearing and speech benefits of cochlear implantation in children : A review of the literature. *International Journal Of Pediatric Otorhinolaryngology*, 133, 109984. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.109984>

Shim, H., Kim, S., Hong, J., Na, Y., Woo, J., Hansen, M. R., Gantz, B. J., & Choi, I. (2023). Differences in neural encoding of speech in noise between cochlear implant users with and without preserved acoustic hearing. *Hearing Research*, 427, 108649. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2022.108649>

Shukor, N. F. A., Lee, J. H., Seo, Y. J., & Han, W. (2021). Efficacy of Music Training in Hearing Aid and Cochlear Implant Users : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clinical And Experimental Otorhinolaryngology*, 14(1), 15-28. <https://doi.org/10.21053/ceo.2020.00101>

Slade, K., Plack, C. J., & Nuttall, H. E. (2020). The effects of Age-Related Hearing loss on the brain and cognitive function. *Trends in Neurosciences*, 43(10), 810-821. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2020.07.005>

- Song, J. H., Skoe, E., Banai, K., & Kraus, N. (2011). Training to Improve Hearing Speech in Noise : Biological Mechanisms. *Cerebral Cortex*, 22(5), 1180-1190. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr196>
- Stropahl, M., Besser, J., & Launer, S. (2019). Auditory Training Supports Auditory Rehabilitation : A State-of-the-Art Review. *Ear And Hearing*, 41(4), 697-704. <https://doi.org/10.1097/aud.0000000000000806>
- Tamati, T. N., Janse, E., & Başkent, D. (2023). The relation between speaking-style categorization and speech recognition in adult cochlear implant users. *JASA express letters*, 3(3), 035201. <https://doi.org/10.1121/10.0017439>
- Tarabichi, O., Foggia, M. J., & Hansen, M. R. (2021). Advances in hearing preservation in cochlear implant surgery. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 29(5), 385-390. <https://doi.org/10.1097/moo.0000000000000742>
- Távora-Vieira, D., Wedekind, A., Ffoulkes, E., Voola, M., & Marino, R. (2022). Cortical auditory evoked potential in cochlear implant users : an objective method to improve speech perception. *PLOS ONE*, 17(10), e0274643. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274643>
- Tillmann, B., Bigand, E., Ferreri, L., & Moussard, A. (2018). Music and the Aging Brain. *The Oxford Handbook*, 622-644. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198804123.013.25>
- Tomioka, R., Kawano, A., Nishiyama, N., Shirai, K., Ohta, Y., & Tsukahara, K. (2022). The actual state of and factors for speech perception ability in adult cochlear implant wearers. *American Journal Of Otolaryngology*, 43(5), 103554. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2022.103554>
- Torppa, R., & Huotilainen, M. (2019). Why and how music can be used to rehabilitate and develop speech and language skills in hearing-impaired children. *Hearing Research*, 380, 108-122. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2019.06.003>

- Treville-Protain, N., Touati, S., Poncet-Wallet, C., & Ernst, E. (2019). Identification des sons environnementaux et parole en milieu bruyant chez les adultes implantés : quel lien ? *Glossa*, 126, 39-62. <https://www.glossa.fr/index.php/glossa/article/view/642/636>
- Tzvi, E., & Keck, A. (2023). How can we compare Cochlear implant systems across manufacturers ? A scoping review of recent literature. *Audiology research*, 13(5), 753-766. <https://doi.org/10.3390/audiolres13050067>
- Ullas, S., Bonte, M., Formisano, E., & Vroomen, J. (2022). Adaptive Plasticity in Perceiving Speech Sounds. Dans *Springer handbook of auditory research* (p. 173-199). https://doi.org/10.1007/978-3-030-81542-4_7
- Valentinuzzi, M. E. (2020). Hearing Aid History : From Ear Trumpets to Digital Technology. *IEEE Pulse*, 11(5), 33-36. <https://doi.org/10.1109/mpuls.2020.3023833>
- Wathour, J. (2022). *Programming cochlear implants with artificial intelligence* [Thèse de doctoral, Université Catholique de Louvain]. <http://hdl.handle.net/2078.1/258948>
- Wathour, J., Derue, L., Barbet, C., Derue, A., & Deggouj, N. (2019). Chapitre 10. Musique et surdité : les implantés en chœur, d'une idée à la concrétisation. Dans *De Boeck Supérieur eBooks* (p. 187-200). <https://doi.org/10.3917/dbu.estie.2019.01.0187>
- Willberg, T., Sivonen, V., Linder, P., & Dietz, A. (2021). Comparing the speech perception of Cochlear implant users with three different Finnish speech intelligibility tests in noise. *Journal of Clinical Medicine*, 10(16), 3666. <https://doi.org/10.3390/jcm10163666>
- Yeo, B. S. Y., Song, H. J. J. M. D., Toh, E. M. S., Ng, L. M., Ho, C. S., Ho, R., Merchant, R. A., Tan, B. K. J., & Loh, W. S. (2023b). Association of Hearing Aids and

- Cochlear Implants With Cognitive Decline and Dementia. *JAMA Neurology*, 80(2), 134. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2022.4427>
- Young, A., Fechtner, L., Kim, C., Nayak, N., Kellermeyer, B., Ortega, C., Rende, S., Rosenberg, S. I., & Wazen, J. J. (2024). Long-term cognition and speech recognition outcomes after cochlear implantation in the elderly. *American Journal of Otolaryngology*, 45(1), 104071. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2023.104071>
- Zendel, B. R., West, G. L., Belleville, S., & Peretz, I. (2019). Musical training improves the ability to understand speech-in-noise in older adults. *Neurobiology Of Aging*, 81, 102-115. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2019.05.015>
- Zhang, X., Li, J., Li, Z., Hong, B., Diao, T., Ma, X., Nolte, G., Engel, A. K., & Zhang, D. (2023). Leading and following : Noise differently affects semantic and acoustic processing during naturalistic speech comprehension. *NeuroImage*, 282, 120404. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.120404>

ABSTRACT

La compréhension de la parole dans le bruit est une compétence essentielle pour communiquer au quotidien. Elle constitue la première plainte des personnes sourdes, appareillées et /ou implantées cochléaires, car elle impacte leurs interactions et leur qualité de vie.

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer si un entraînement dans le bruit améliore la perception de la parole dans ces situations d'écoute difficiles. Un groupe expérimental constitué de 9 adultes sourds appareillés et/ou implantés a bénéficié de 6 séances d'entraînement auditif. Un pré-test et un post-test ont évalué la perception de mots dans le bruit et au sein de chansons, la localisation spatiale, les capacités d'écoute dichotique et le ressenti de la personne dans le bruit au quotidien. Ces mêmes variables ont été mesurées pour un groupe de 7 adultes sourds appareillés et/ou implantés qui n'ont pas été entraînés et chez 10 adultes normo-entendants.

Les analyses statistiques ne montrent pas d'effets statistiques significatifs de l'entraînement sur les variables mesurées après l'entraînement auditif, mais tous les participants ont des scores supérieurs en post-test sur au moins deux tâches et ont rapporté des éléments qualitatifs bénéfiques. Ces séances leur ont permis de partager leur expérience de la surdité avec d'autres personnes confrontées aux mêmes difficultés, de prendre confiance en eux et de situer leur niveau en compréhension de la parole dans le bruit face aux tâches proposées et aux résultats des autres participants.