



UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG
Année : 2023

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Etude monocentrique évaluant l'effort d'écoute des patients implantés
cochléaires en environnement bruyant, par pupillométrie.**

Présentée et soutenue publiquement le 24 octobre 2023 à 18h
au Pôle Recherche
Par Maxime THUILLIER

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Christophe VINCENT

Asseseurs :

Monsieur le Professeur Dominique CHEVALIER

Monsieur le Professeur Geoffrey MORTUAIRE

Madame le Docteur Fanny GAUVRIT

Directeur de thèse :

Monsieur le Professeur Christophe VINCENT

AVERTISSEMENT

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses :
celles-ci sont propres à leurs auteurs.

1	Première partie : Introduction	5
1.1	Le patient implanté cochléaire	5
1.2	Audition et cognition	6
1.3	Audiométrie dans le bruit	7
1.4	L'effort d'écoute	8
1.5	La pupillométrie	8
1.6	Problématique et objectif de l'étude	11
2	Deuxième partie : Etude clinique	13
2.1	Matériel et méthodes	13
2.1.1	Plan de l'étude	13
2.1.2	L'audiométrie Vocale Rapide dans le Bruit (VRB)	14
2.1.3	Capture des flux pupillaire et auditif	16
2.1.4	Mesure de l'effort d'écoute	20
2.1.5	MMSE et HAD	22
2.1.6	Gestion des données	22
2.1.7	Mesure du critère principal	25
2.1.8	Etude des critères secondaires	27
2.1.9	Statistiques	27
2.2	Résultats	28
2.2.1	Population	28
2.2.2	Test VRB et dilatation pupillaire	33
2.2.3	Critère de jugement principal	35
2.2.4	Critères de jugement secondaires	36
2.3	Discussion	39
2.4	Conclusion	43
3	Annexes	44
3.1	Annexe 1 : Questionnaire du Mini Mental State Examination , version du GRECO	44
3.2	Annexe 2 : Questionnaire Hôpital Anxiety and Depression scale	46
3.3	Annexe 3 : Lunette de pupillométrie	47
3.4	Annexe 4 : Détails des métiers	47
4	Références	48

Tables des abréviations :

dB : Décibel

dB SPL : Decibel Sound Pressure Level (Pression physique du son)

IC: Implant cochléaire

ISO: International Organization for Standardization

IRM : Imagerie par résonance magnétique

GRECO : Groupe de recherche sur l'évaluation cognitive

HAD: Hospital Anxiety and Depression Scale

HP: Haut-Parleurs

LSL: Lab Streaming Layer

MBAA: Marginal Benefit from Acoustical Amplification

MM: Millimètre

MMSE: Mini Mental State Examination

MoCA : Montreal Cognitive Assessment

OVG : Onde Vocale Globale

PPD : Pic de dilatation pupillaire

PPDm : Pic de dilatation pupillaire moyen

PY : Python

RSB : Rapports Signal-sur-Bruit

RSB-50 : Rapport Signal-sur-Bruit nécessaire pour comprendre 50% du signal

SPL : Sound Pressure Level

SFA : Société Française d'Audiologie

TC : Traumatisme crânien

VRB : Vocale Rapide dans le Bruit

XDF : Extensible Data Format

1 Première partie : Introduction

1.1 Le patient implanté cochléaire

Selon un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé, en 2021, 430 millions de personnes souffrent de déficience auditive handicapante dans le monde (1). En France, ce handicap concerne près de 3 millions de patients (2). Cette déficience est responsable de troubles de développement du langage, d'isolement social et affectif, d'un défaut d'intégration dans le monde du travail, et du développement de troubles cognitifs (3). La surdité neurosensorielle correspond à une atteinte de la cochlée et/ou des voies nerveuses associées.

Dans le cadre d'une surdité neurosensorielle sévère à profonde, le bénéfice apporté par l'appareillage auditif conventionnel peut être limité. L'implant cochléaire (IC) est un dispositif implantable visant à réhabiliter les patients atteints d'une surdité sévère à profonde par la mise en place d'un faisceau d'électrodes au sein de la cochlée. Un microphone externe capte le son et un processeur transforme l'information acoustique en une information électrique. Cette information électrique est véhiculée par les électrodes pour une stimulation directe des fibres du nerf cochléaire. Il s'agit d'une solution chirurgicale permettant aux patients une meilleure compréhension de la parole (4).

Le suivi des patients implantés cochléaires est assuré par des bilans réguliers composés de tests auditifs (audiométrie), réglages des dispositifs, ainsi que des séances hebdomadaires d'orthophonie.

Bien que les implants cochléaires puissent améliorer considérablement la perception des sons et l'intelligibilité chez leurs utilisateurs, l'audition dans les situations de la vie quotidienne, et notamment dans le bruit, reste un défi. En effet les patients implantés

cochléaires rapportent des difficultés plus importantes de compréhension de la parole dans les milieux bruyants (5,6).

1.2 Audition et cognition

La perte auditive est maintenant connue comme étant le premier facteur de risque évitable de la démence (3). Les personnes malentendantes, qui éprouvent des difficultés dans des environnements d'écoute complexes et bruyants, modifient souvent leur comportement et leurs activités sociales afin d'éviter ces environnements (7). A long terme, si l'écoute dans les activités quotidiennes exige fréquemment plus d'effort que les auditeurs ne peuvent ou ne veulent en déployer, ces derniers peuvent développer un stress chronique et se retirer de l'interaction sociale, entraînant des conséquences négatives sur la cognition, la santé générale, le bien-être et la qualité de vie (8).

De par leur histoire auditive, les patients implantés présentent des facteurs de risque de développer des troubles cognitifs, anxieux et dépressifs (9–11) pouvant avoir un retentissement sur leur performances et donc leur réhabilitation auditive.

L'attention, la mémoire de travail et la vitesse de traitement, constituent un trio de facteurs cognitifs impliqués dans l'écoute et la compréhension de la parole qu'il convient d'évaluer au cours du bilan de pré-implantation mais aussi au cours du suivi du patient implanté. Le test du Mini Mental State Examination (MMSE) (Annexe 1) reste un bon outil de dépistage global des troubles cognitifs, validé internationalement, avec l'avantage de pouvoir être soumis à l'écrit plus facilement que d'autres tests comme le Montreal Cognitive Assessment (MoCA) par exemple. Concernant l'anxiété et la dépression, celles-ci peuvent être dépistées par l'utilisation de questionnaires comme le Hospital Anxiety and Depression Scale (HAD) (Annexe 2) qui permettent d'évaluer dans le même temps ces deux composantes.

1.3 Audiométrie dans le bruit

L'audition dans des environnements bruyants est une difficulté majeure pour les individus porteurs d'implants. Les déficits dans la perception de la parole peuvent ne pas être immédiatement évidents, et ce, même dans des conditions qui restent favorables, car ils peuvent être partiellement compensés par des mécanismes cognitifs (suppléance mentale) (12). Cette forme de compensation exige généralement un engagement intense dans l'écoute, demandant une attention constante, ce qui peut induire une fatigue significative, souvent sous-estimée.

En utilisant des tests audiométriques dans le bruit, nous exposons les patients à des conditions acoustiques plus écologiques, simulant les défis auxquels ils sont confrontés dans leur vie quotidienne. Les plaintes et les limitations auditives spécifiques peuvent être mieux identifiées, ce qui peut orienter les décisions de traitement et de réadaptation.

Dans ces tests, le patient est exposé à un signal vocal (généralement une phrase ou des mots) présenté dans un environnement bruyant simulé, pouvant varier en intensité, définissant ainsi différents Rapports Signal-sur-Bruit (RSB). Indépendamment du type de bruit masquant utilisé, le RSB est un facteur majeur affectant l'intelligibilité du patient. En effet, plus le RSB est diminué, plus le niveau de masquage énergétique augmente, diminuant de ce fait l'intelligibilité du signal cible (13).

La perte de RSB, quantifiée en décibel RSB (dB RSB), correspond à l'augmentation du seuil d'intelligibilité dans le bruit, c'est-à-dire l'augmentation du Rapport Signal-sur-Bruit nécessaire pour comprendre 50% des mots, phrases ou mots-clés (RSB-50) par rapport à une norme de performance. Ainsi une perte significative de dB RSB entraîne une augmentation considérable du seuil d'intelligibilité dans le bruit, qui se traduit par d'importantes difficultés à percevoir les mots ou les phrases dans cet environnement.

1.4 L'effort d'écoute

Plusieurs études ont examiné la mise en œuvre de ces mécanismes cognitifs liés à l'audition, aboutissant à la définition de ce que l'on appelle communément « l'effort d'écoute ». Il peut être défini comme « l'allocation délibérée de ressources mentales pour surmonter les obstacles dans la poursuite d'un objectif lors de l'écoute » (14).

À l'heure actuelle, les divers examens audiométriques utilisés pour le suivi des patients implantés ne parviennent pas à prendre en considération les plaintes concernant cet engagement cognitif accru. Il n'est pas inhabituel que les patients signalent une intensité suffisante des sons perçus avec une compréhension possible de la parole, mais qu'écouter demande des efforts considérables et s'avère souvent trop difficile (5).

L'utilisation de ces ressources mentales peut être influencée par de nombreux facteurs comme l'attention, la mémoire de travail, la vitesse de traitement, l'intelligibilité ou encore l'âge.

Diverses techniques non invasives peuvent être utilisées pour détecter l'activité neuronale en réponse à des stimuli auditifs. Bien que l'imagerie par résonance magnétique (IRM) fonctionnelle soit la méthode la plus courante pour mesurer les réponses cérébrales, les composantes ferromagnétiques des IC sont incompatibles avec les champs électromagnétiques élevés générés par l'IRM.

1.5 La pupillométrie

Dans cette perspective, la pupillométrie se révèle être un outil précieux. Cette méthode propose une approche objective pour évaluer l'effort d'écoute en mesurant la dilatation de la pupille. Des recherches menées dans divers domaines ont confirmé que la pupille tend à se dilater en réaction à l'accroissement de la charge mentale liée à une tâche spécifique (15,16).

En effet, le diamètre de la pupille est influencé par l'action conjointe d'un muscle dilatateur de l'iris, innervé par le système nerveux sympathique, qui provoque la dilatation de la pupille ; et d'un muscle constricteur de l'iris, innervé par le système nerveux parasympathique. Les efforts cognitifs entraînent l'activation du système noradrénergique situé dans le locus coeruleus (16), ce qui entraîne l'inhibition du sphincter de l'iris. Par conséquent, la dilatation de la pupille est amorcée. Ces modifications de dilatation de la pupille engendrées par l'activité de l'axe noradrénergique sont plutôt modestes (environ 0,5 mm), contrastant avec le réflexe photomoteur qui peut entraîner des fluctuations du diamètre pupillaire d'environ 3 à 4 mm, avec une relation inverse au niveau de luminosité.

L'utilité de la pupillométrie réside dans sa capacité à mesurer rapidement et aisément le diamètre pupillaire, sans nécessiter d'intervention invasive ou physique directe avec le patient, grâce à des dispositifs portables (Figure 1)

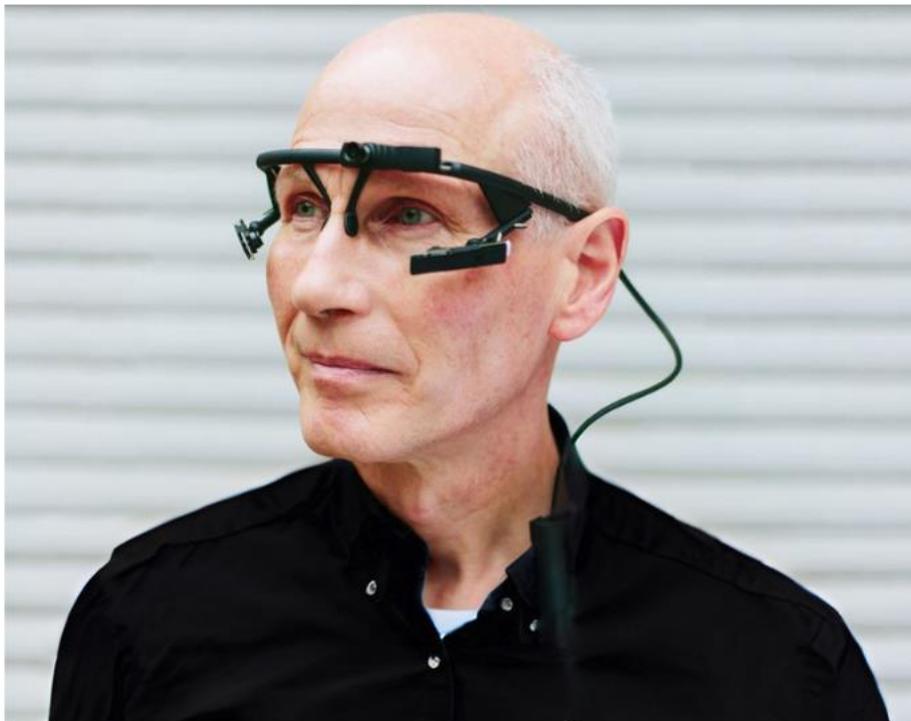


Figure 1 : Dispositif de pupillométrie portable

Dans le domaine de l'audition, cette approche a récemment été mise en œuvre avec succès pour étudier la compréhension auditive de phrases chez les patients normoentendants et malentendants notamment au sein de notre équipe grâce aux travaux de *R. Demullier* (17). Ces derniers ont pu mettre en évidence une augmentation du diamètre pupillaire lorsque la complexité de la tâche d'écoute augmente (17–20) (Figure 2). Cette méthode a notamment été appliquée chez les patients implantés cochléaires, confirmant les résultats déjà observés (21).

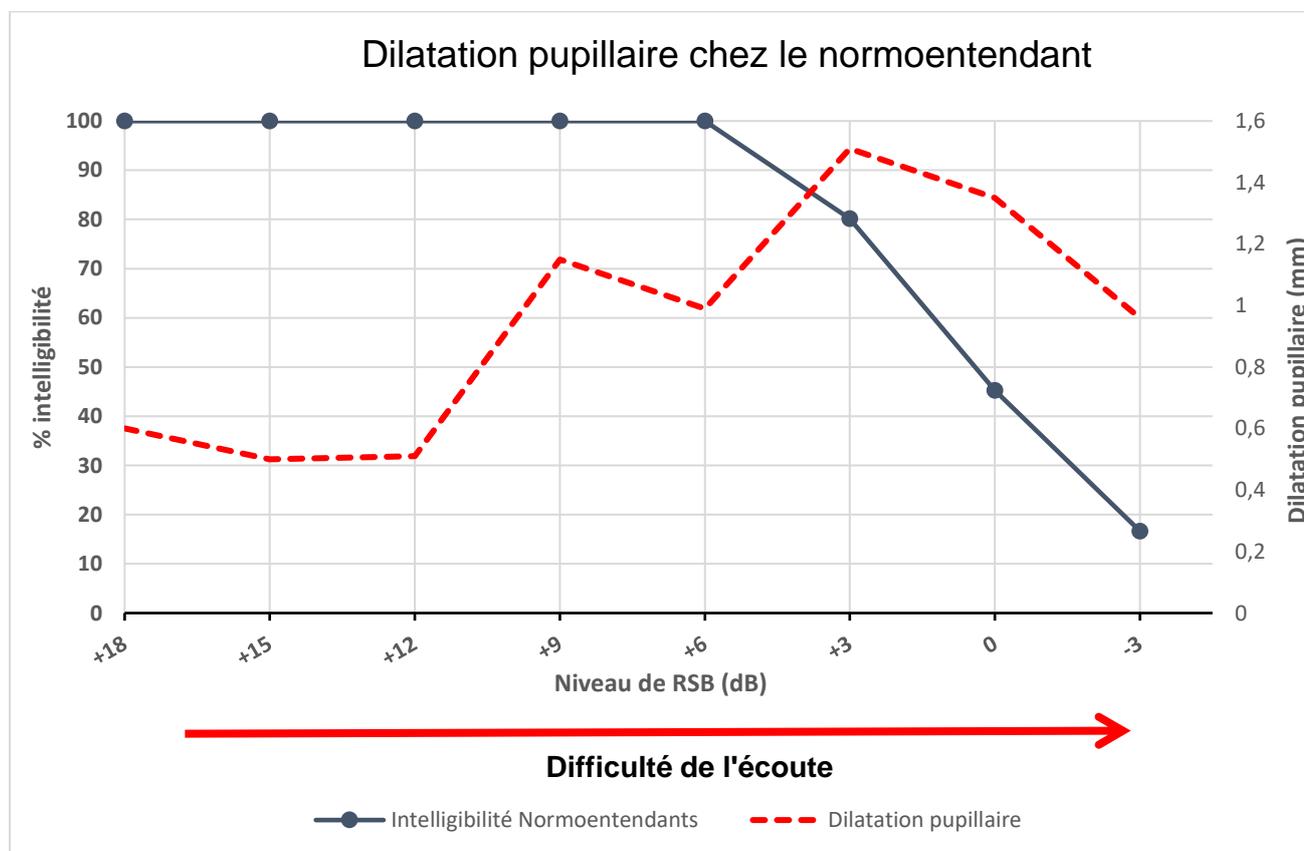


Figure 2 : Dilatation pupillaire selon la complexité de la tâche d'écoute chez le normoentendant, d'après les travaux de *R. Demullier* (2019).

Le diamètre pupillaire peut varier en fonction de diverses conditions, nécessitant une régulation précise pour obtenir une mesure reflétant fidèlement l'effort d'écoute. Pour garantir des conditions optimales, la luminosité devra être maintenue relativement faible et constante, et toute prise de médicaments ou de substances affectant l'axe noradrénergique devra être

prise en compte (par exemple, la caféine). En outre, il est essentiel que le patient maintienne un angle de vue constant pour prévenir toute altération du diamètre pupillaire causée par un stimulus autre que le matériel auditif (22).

Étant donné que la libération de noradrénaline est un processus lent, les variations du diamètre pupillaire se produiront sur une échelle de temps de 200 à 500 millisecondes (23). Par conséquent, il sera nécessaire de prévoir un intervalle suffisant après un effort cognitif pour que le diamètre pupillaire revienne à sa situation de base (plusieurs secondes seront requises).

La force de la pupillométrie réside dans son caractère sous-cortical et dans le fait qu'elle ne nécessite aucun contrôle conscient de la part des patients, ce qui rend la méthode objective.

1.6 Problématique et objectif de l'étude

À l'heure actuelle, l'effort d'écoute n'est pas pris en compte dans l'évaluation des performances post-implantation des patients.

L'objectif principal de cette étude vise à mesurer l'effort d'écoute de patients implantés cochléaires au cours de l'audiométrie Vocale Rapide dans le Bruit.

Il existe au sein de la population de patients implantés cochléaires, des patients plus performants que d'autres sans qu'une corrélation puisse être établie entre le résultat obtenu en audiométrie et le ressenti subjectif sur l'effort déployé pour y arriver (24). De nombreuses études ont été menées pour examiner les facteurs qui influencent les résultats variables chez les patients ayant subi une implantation cochléaire, en particulier en ce qui concerne la

compréhension de la parole et la qualité de vie (25–27). Nous pensons que ces facteurs peuvent également avoir un impact sur la mobilisation des ressources mentales pour l'écoute.

L'objectif secondaire est l'identification de facteurs liés à l'histoire de la surdité du patient qui pourraient avoir un impact sur l'effort d'écoute.

2 Deuxième partie : Etude clinique

2.1 Matériel et méthodes

2.1.1 Plan de l'étude

Il s'agit d'une étude prospective, monocentrique, transversale. Elle est menée au CHU de Lille dans le service de référence pour l'implantation cochléaire. Le cadre légal est celui de la loi Jardé 2016, plus précisément comme étant une recherche impliquant la personne humaine de type 3.

Les critères d'inclusion que nous avons retenus sont : patients majeurs (≥ 18 ans), parlant couramment la langue française, affiliés à la sécurité sociale, ayant reçu une information orale et écrite ainsi qu'un consentement oral préalable à toute procédure spécifique à l'étude, ayant une perte auditive neurosensorielle bilatérale, sévère à profonde, avec au moins un système d'implant cochléaire, avec une durée d'expérience de l'implant cochléaire ≥ 6 mois, et un score obtenu en audiométrie vocale dans le silence sur liste monosyllabique à 60 db SPL $\geq 40\%$ lors du dernier bilan.

Les critères d'exclusion sont basés notamment sur les bonnes pratiques de pupillométrie (22) : la présence d'une pathologie oculaire telle qu'un nystagmus, une amblyopie ou une dégénérescence maculaire, un antécédent de traumatisme crânien grave ou antécédents de problèmes neurologiques pouvant entraîner une anisocorie, la prise de médicaments concomitante pouvant avoir un impact sur le système nerveux autonome parasympathique et notamment le Trihexyphenidyl, Biperiden ou Tropatepine (anticholinergiques, couramment utilisés dans le traitement de la maladie de Parkinson). En effet l'ensemble de ces éléments peuvent affecter la stabilité du regard, la congruence des mouvements oculaires et la dilatation de la pupille. Sont également exclus de l'étude les patients présentant une

implantation cochléaire tardive (après 3 ans), les personnes sous protection légale (tutelle, curateurs, autres, etc.) ou sous autorisation familiale ainsi que les personnes exprimant leur refus ou incapacité de se conformer à toutes les exigences de l'étude.

Le recrutement a été réalisé après screening de l'ensemble des dossiers des patients implantés cochléaires ayant bénéficié d'un bilan de suivi dans le service entre le 1er juin 2022 et le 30 septembre 2023. Il s'agit d'un recrutement prospectif, les patients étaient invités à participer à l'étude par mail via une lettre d'information. L'effort d'écoute a été mesuré sur l'ensemble de la population étudiée, avant que les sujets ne soient classés en deux sous-groupes, en fonction de leur performance lors de l'audiométrie Vocale Rapide dans le Bruit. Les patients dont la perte de RSB était inférieure ou égale à la perte médiane de notre population étaient classés dans le groupe 1 tandis que les patients dont la perte de RSB était supérieure ou égale à la perte médiane étaient classés dans le groupe 2.

2.1.2 L'audiométrie Vocale Rapide dans le Bruit (VRB)

Actuellement, plusieurs tests d'audiométrie vocale dans le bruit sont disponibles, dont la Vocale Rapide dans le Bruit (VRB) qui est un test normé, standardisé et validé par la Société Française d'Audiologie (SFA) (28). Les 127 phrases utilisées dans la VRB sont issues des 540 phrases du corpus Marginal Benefit from Acoustical Amplification (MBAA) initialement conçu pour tester les patients porteurs d'implants cochléaires (29). Ces phrases ont été sélectionnées pour leur équivalence (30). La réalisation du test se décline en 4 listes de 9 phrases présentées à 65 dB SPL (correspondant au niveau sonore de la voix normale) avec une augmentation du bruit de fond de 3 dB en 3 dB à chaque nouvelle phrase. La première phrase, présentée dans le silence, n'intervient pas dans le calcul du score de perte de RSB moyenné sur 8 phrases. Chaque phrase contient 3 mots clés. Elles sont suffisamment

courtes pour être répétées facilement (mémoire à court terme), ne pas porter à confusion (phonologie), et ne pas être trop prévisibles pour limiter la suppléance mentale. Un intervalle de huit secondes est respecté entre chaque phrase afin de répondre à la norme internationale (ISO) sur l'intervalle entre deux items vocaux (31) (32).

Quelques exemples : Il pleut depuis hier matin ; Il fait trop chaud pour sortir faire des courses.

Associé à ces phrases, un bruit masquant est donc surajouté. Celui-ci a été créé à partir de l'Onde Vocale Globale (OVG) : bruit multi-locuteurs utilisant 4 voix correspondant à une discussion de deux couples, l'un conversant en français, l'autre en anglais réaliste d'une situation de rassemblement social (également appelé cocktail party). Il existe donc une variation du Rapport de Signal (phrase) Sur Bruit (cocktail party) au cours de chaque liste présentée allant de +18 db RSB à -3 db RSB (33) (Figure 2).

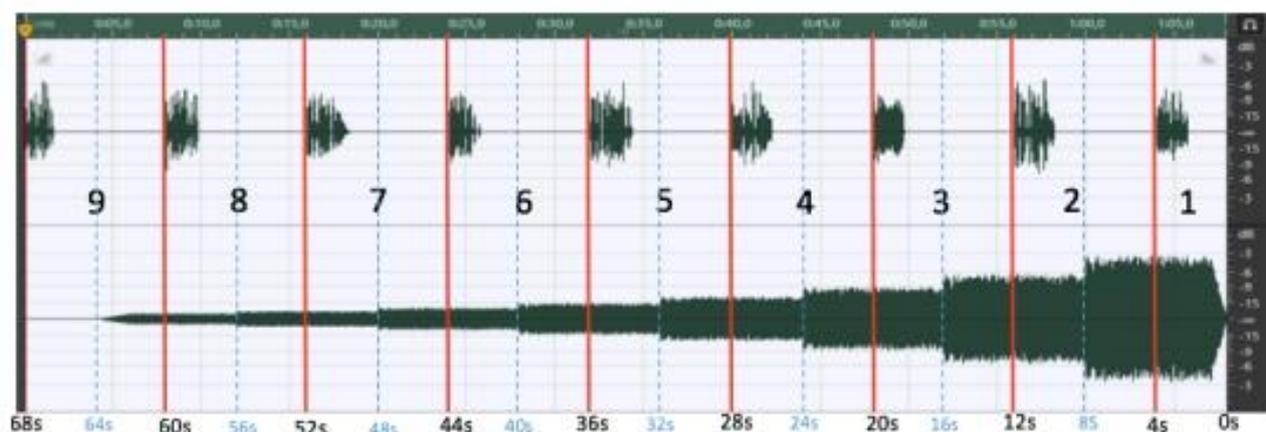


Figure 2 : Evolution au cours du temps du rapport signal sur bruit (RSB) pendant le test audiométrique VRB par R. DEMULLIER. La première ligne correspond aux 9 phrases (signal) et la deuxième ligne au bruit masquant « cocktail party ».

La diffusion des phrases est effectuée en champ libre dans une cabine insonorisée propre au test VRB en configuration 5.1 (Figure 3) selon les recommandations de la SFA (28):

- Le signal vocal est émis de face (azimut 0°)
- Le bruit masquant provient d'Haut-Parleurs (HP) localisés à 0°, +60°, +120°, -60°, -120°

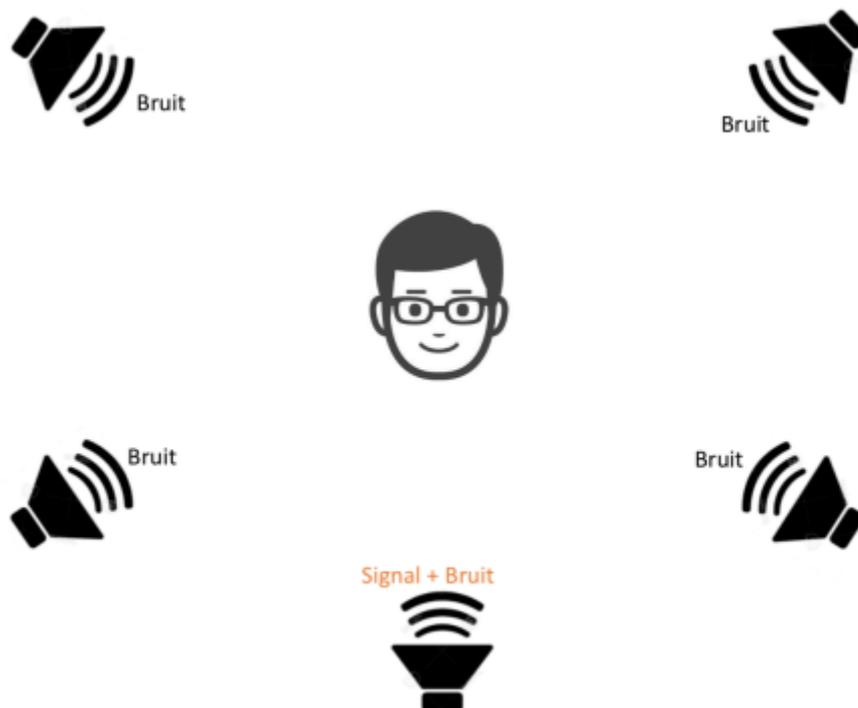


Figure 3 : Configuration spatiale des 5 haut-parleurs pour la VRB

2.1.3 Capture des flux pupillaire et auditif

Les phrases de la VRB ont été intégrées au logiciel HUB-SOUND (Laboratoire Biotone ®) qui est un logiciel de test audiométrique en champ libre. L'enregistrement du flux de données auditives est réalisé par le logiciel AudioCapture 0.1 (Figure 4) qui est un outil-logiciel développé en relation avec la bibliothèque du LabStreamingLayer (LSL) (34).

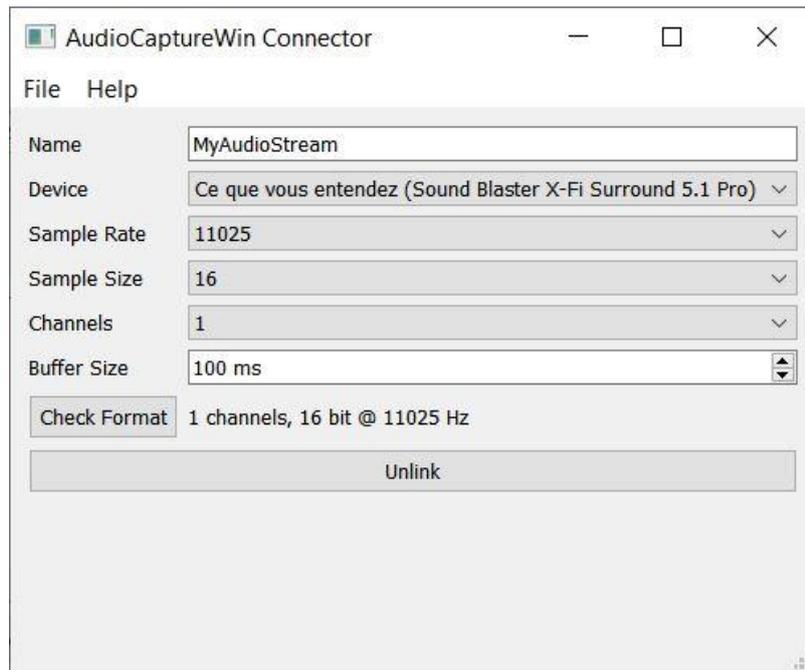
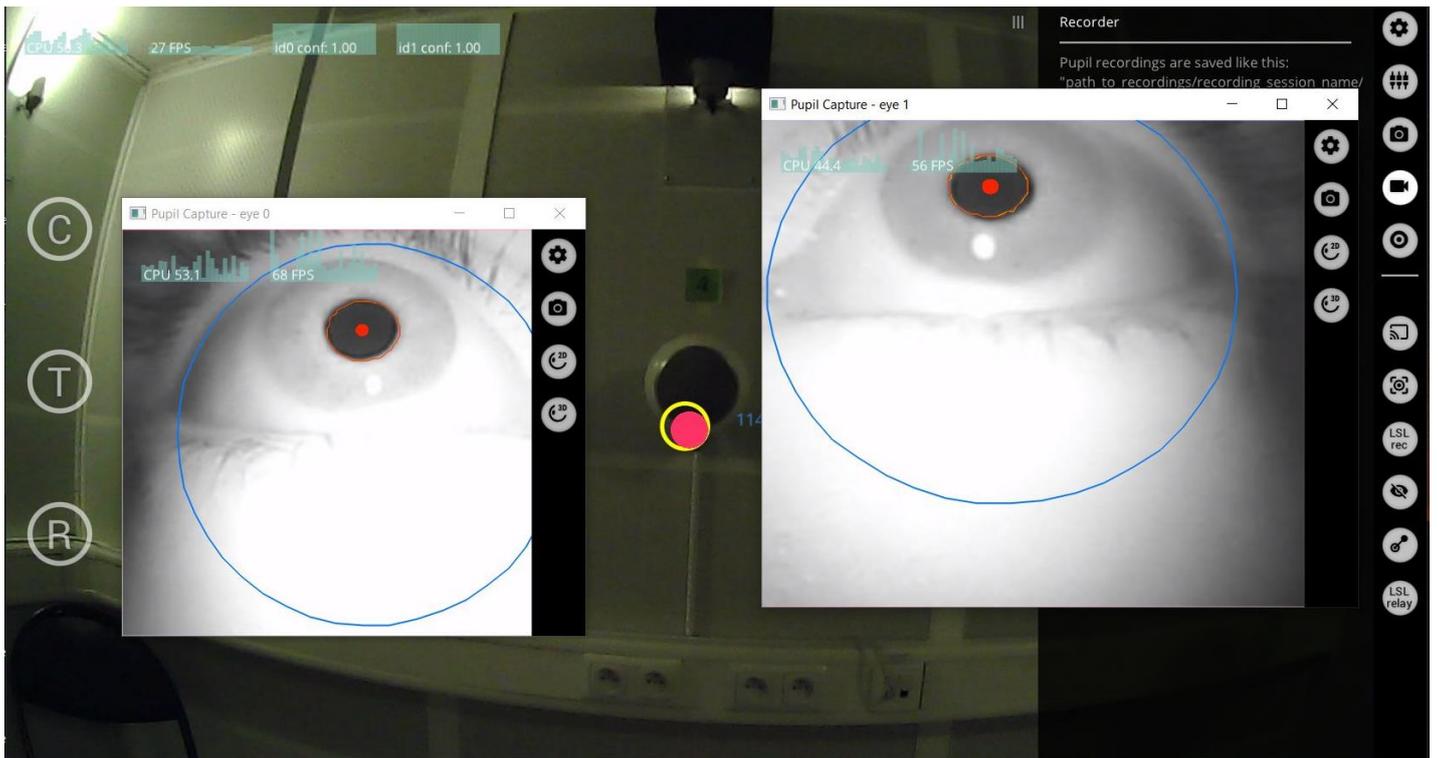


Figure 4 : Interface AudioCapture 0.1

Utilisation du canal « ce que vous entendez » de notre carte son

Le LSL est une bibliothèque open-source utilisée pour la transmission de données en temps réel entre des périphériques et des applications dans le domaine des sciences et de la recherche (35). Il permet notamment de synchroniser les données provenant de différentes sources, par exemple ici la pupillométrie et l'environnement sonore.

Concernant l'acquisition des données de pupillométrie, nous avons utilisé le modèle de lunettes « Core » (Annexe 3) fabriqué par le laboratoire Pupil Labs® (Allemagne) ainsi que le logiciel PupilCapture 3.5.1 (Figure 5) du même laboratoire (36) auquel le plugin LSL a été ajouté.



*Figure 5 : Logiciel PupilCapture, eye 0 = œil droit, eye 1= œil gauche,
Indice de confiance (id_conf) à 1.00 pour les deux yeux (mesure optimale)*

La synchronisation des deux flux d'informations étant faite, nous avons utilisé le logiciel associé au LSL, le LabRecorder 1.16.3 (Figure 6). Il s'agit d'un programme d'enregistrement open source permettant de capturer et d'enregistrer différents types de données (signaux biomédicaux, éléments audios...) tout en maintenant la synchronisation précise entre les différents canaux (37). Ainsi la dilatation pupillaire pourra être étudiée en fonction de l'environnement sonore à chaque instant de l'audiométrie VRB.

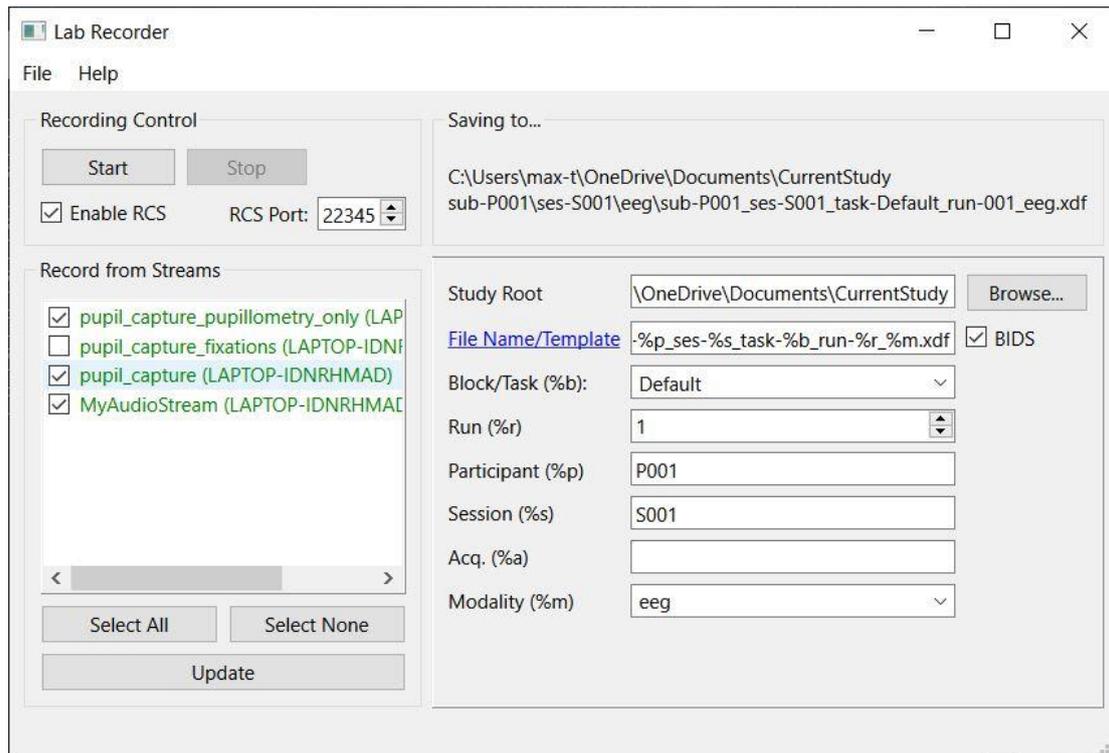


Figure 6 : LabRecorder : les flux sont détaillés en vert

Patient P001, Liste (run) N°1

L'enregistrement se fait dans un fichier unique contenant l'ensemble des informations auditives et pupillaires au format .XDF exploitable par un programme écrit en langage Python.

Étant donné que le fabricant a indiqué un taux d'échantillonnage de 200 Hz pour la pupillométrie et que notre taux d'échantillonnage est de 11025 Hz pour l'enregistrement audio, il sera nécessaire de considérer ces valeurs lors de l'analyse des fluctuations du diamètre pupillaire en fonction du temps.

2.1.4 Mesure de l'effort d'écoute

Conformément aux recommandations de bonnes pratiques en pupillométrie, il était demandé à chaque participant de s'abstenir de consommer du café dans les 3 heures précédant le test. De plus, il a été demandé aux participants de ne pas se maquiller le jour de l'examen. La passation des tests s'est effectuée dans une cabine insonorisée en configuration VRB 5.1. Le participant est assis sur un fauteuil stationnaire, robuste, fixé sur un socle de 95kg afin d'assurer une position fixe (Figure 7). Le confort du patient est très important, car le changement de posture, ou la contraction des muscles peuvent entraîner des variations de dilatation de la pupille. Un appui tête réglable permet de maintenir un angle de vue constant et d'éviter les tensions musculaires cervicales. Les conditions d'éclairage pour la pupillométrie étant très importantes, nous avons opté pour un éclairage calibré (doux et homogène) de 125 lux.

Les mesures ont donc été effectuées à l'aide du dispositif de pupillométrie portable Core, permettant de s'affranchir des fluctuations du diamètre pupillaire liées aux changements de distance entre l'œil et une potentielle caméra déportée. Bien que cela puisse sembler de moindre importance, la gestion de la position des yeux du patient est en réalité essentielle, étant donné que la mesure du diamètre pupillaire est affectée par l'exposition à la lumière ambiante qui peut varier par endroit dans la salle. Par conséquent, il est crucial d'informer le patient de ne pas bouger la tête et les yeux, en lui fournissant un point de repère visuel à fixer droit devant lui.



Figure 7 : Cabine d'audiométrie en configuration VRB 5.1 (2 HP sont désactivés sur cette photographie)

Pour nous assurer un enregistrement de bonne qualité, un indice de confiance « id_conf » compris entre [0.00-1.00] nous informe en permanence sur la qualité d'enregistrement de la pupille, la valeur 1.00 étant un enregistrement optimal. A chaque clignement des yeux celui-ci se rapproche de 0.

L'enregistrement de la taille de la pupille se fait en 3 dimensions grâce au module « pye3d » qui présente l'avantage de mesurer la taille de la pupille en millimètres (en prenant en compte la forme sphérique du globe oculaire) par rapport aux modèles 2 dimensions dont l'unité est le pixel (38).

2.1.5 MMSE et HAD

L'ordre de passage des tests était toujours identique pour chaque patient, commençant par le questionnaire HAD, suivi de la réalisation de la VRB, puis enfin du test MMSE.

L'échelle HAD est un outil de dépistage des troubles anxieux et dépressifs qui se compose de 14 questions notées de 0 à 3. Sept de ces questions évaluent l'anxiété (score total A), tandis que les sept autres se concentrent sur la dimension dépressive (score total D). Cela permet d'obtenir deux scores distincts, avec un maximum de 21 points pour chaque score.

Le test MMSE était réalisé dans sa version standardisée décrite par le groupe de recherche sur l'évaluation cognitive (GRECO).

2.1.6 Gestion des données

Chaque session de patient est consignée dans un dossier anonymisé, contenant les quatre fichiers .XDF correspondant aux quatre listes de la VRB. La première étape vérifiait la qualité des enregistrements et l'exploitabilité des courbes obtenues. Pour ce faire, une version simplifiée de notre script d'analyse « pupil.py » a été utilisée. Ce script simplifié permet une visualisation rapide, sous forme d'image, de la dilatation pupillaire au cours de l'épreuve pour chaque liste de phrases. Les courbes ininterprétables, comme celles ayant une amplitude constante ou celles mettant en évidence l'absence de données, ont été facilement repérées et exclues.

Les courbes brutes étaient difficilement interprétables du fait du très grand nombre de données (environ 32 000 mesures pour une seule liste) (Figure 8). La gestion du bruit de fond est indispensable avec en premier lieu la suppression des mesures dont l'indice de confiance associé est inférieur 0.8 ce qui permet d'obtenir un tracé fiable en s'affranchissant

des clignements des yeux (Figure 9). Nous avons appliqué l'algorithme de Savitzky-Golay (polynomial_order = 3 ; window_length= 200) qui est couramment utilisé en traitement de signal pour effectuer un lissage de courbe et obtenir ses dérivées successives (Figure 10).

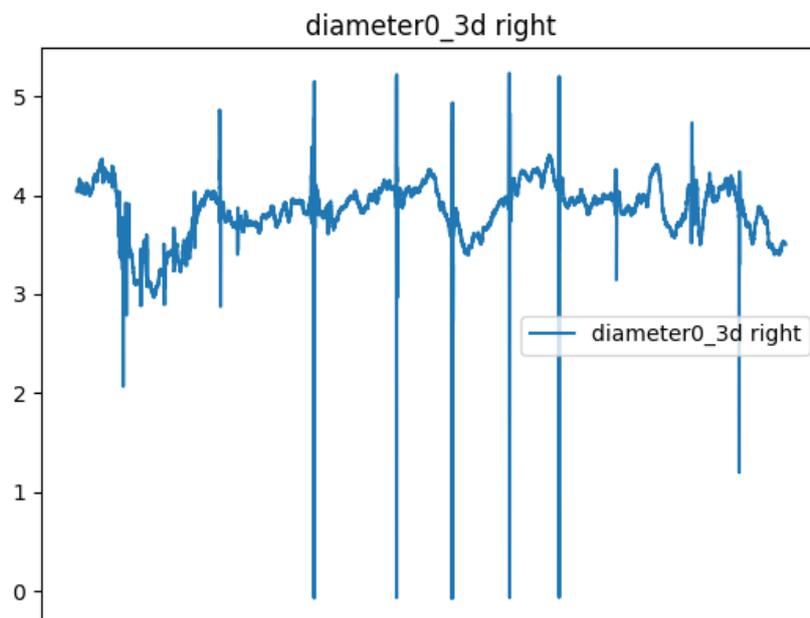


Figure 8 : Mesure brute en 3D de la dilatation pupillaire au cours d'un liste de la VRB (Patient test)
Diamètre (mm) en fonction du temps.

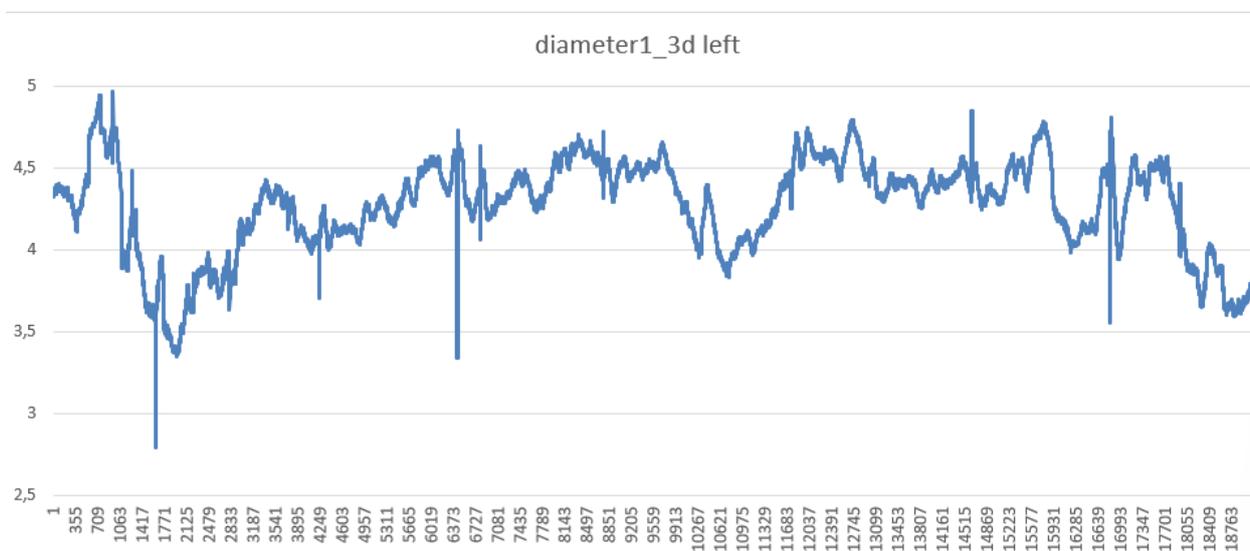


Figure 9 : Suppression des clignements de paupière et des $id_conf < 0.8$ (Patient test)
Diamètre (mm) en fonction du temps.

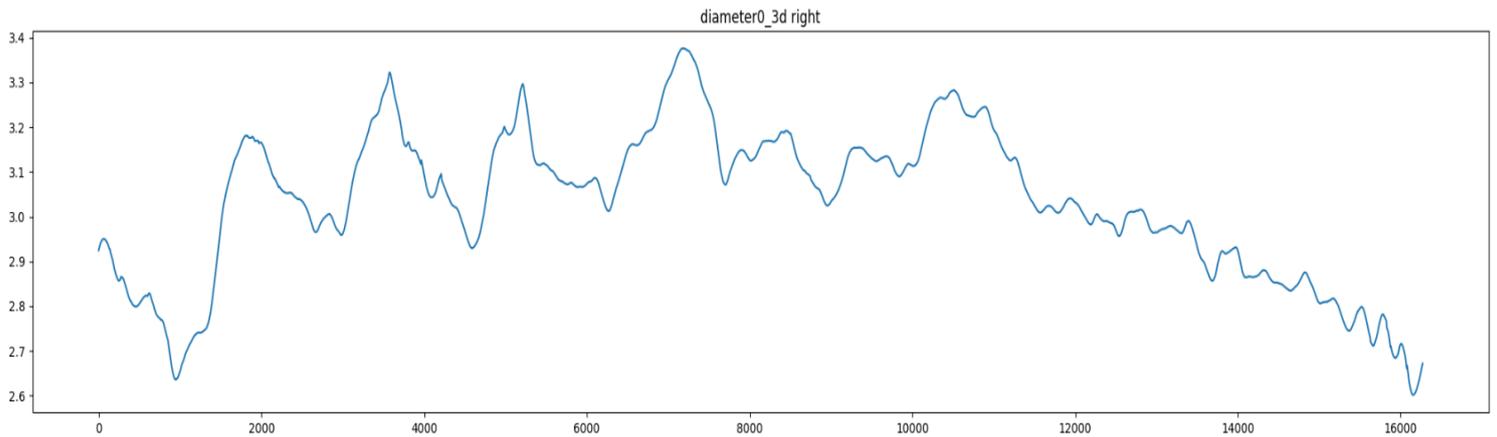


Figure 10 : Lissage de la courbe avec l'algorithme de Savitzky-Golay (Patient P023).
Diamètre (mm) en fonction du temps.

L'enregistrement de la dilatation pupillaire étant déjà couplé à l'enregistrement de l'environnement sonore, nous avons utilisé ce dernier comme repère temporel afin de découper notre tracé de pupillométrie en fonction des différentes phrases et donc des différents niveaux de RSB. La durée d'une liste de la VRB est constante et dure 68 secondes ce qui permet d'obtenir huit segments de huit secondes correspondant aux huit premières phrases et un neuvième segment de quatre secondes correspondant à la dernière phrase (cf. 2.1.3 Figure 2). Ainsi, la prise en compte des différents taux d'échantillonnages, nous permet d'obtenir précisément le début et la fin de notre liste testée au sein du tracé de pupillométrie (Figure 11 et 12).

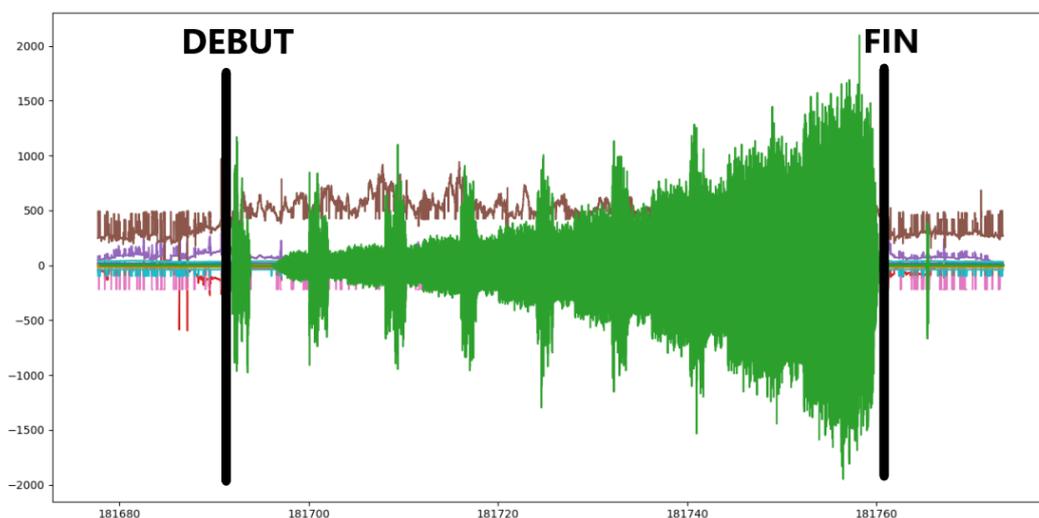


Figure 11 : Utilisation de l'enregistrement audio pour isoler les données de pupillométrie comprises entre le début et la fin d'une liste de la VRB.

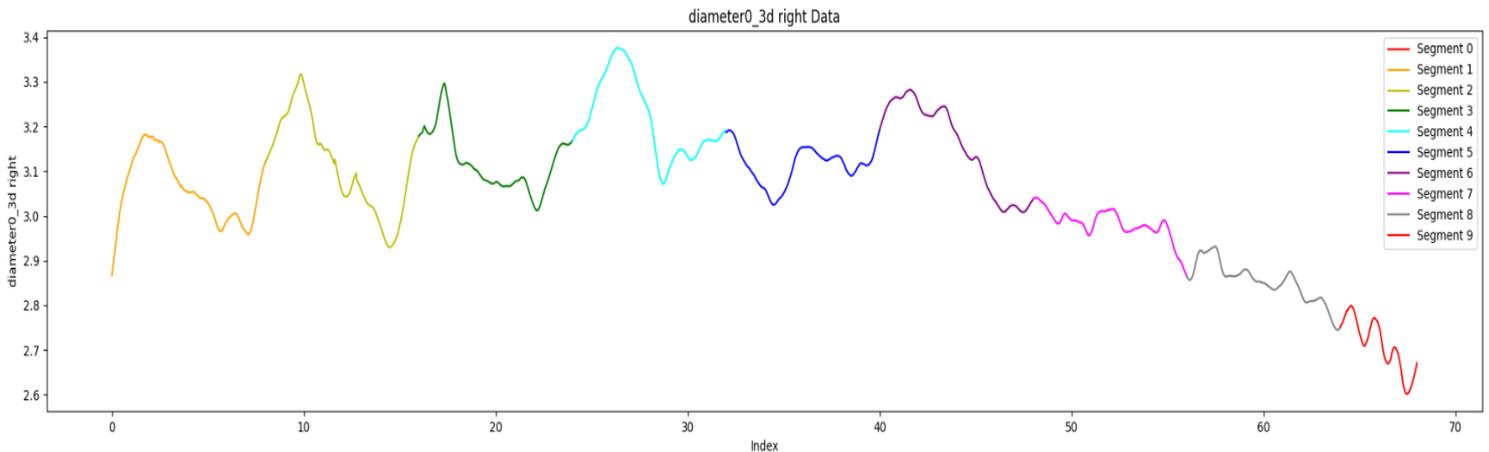


Figure 12 : Découpage du tracé de pupillométrie de la fig.11 selon les différents niveaux de RSB

Lorsque le traitement des quatre listes est terminé, les courbes sont comparées entre elles sur un même graphique, car dans certains cas, les premiers essais devront être exclus de l'analyse en raison des réponses pupillaires très différentes de celles du reste du bloc (Figure 13).

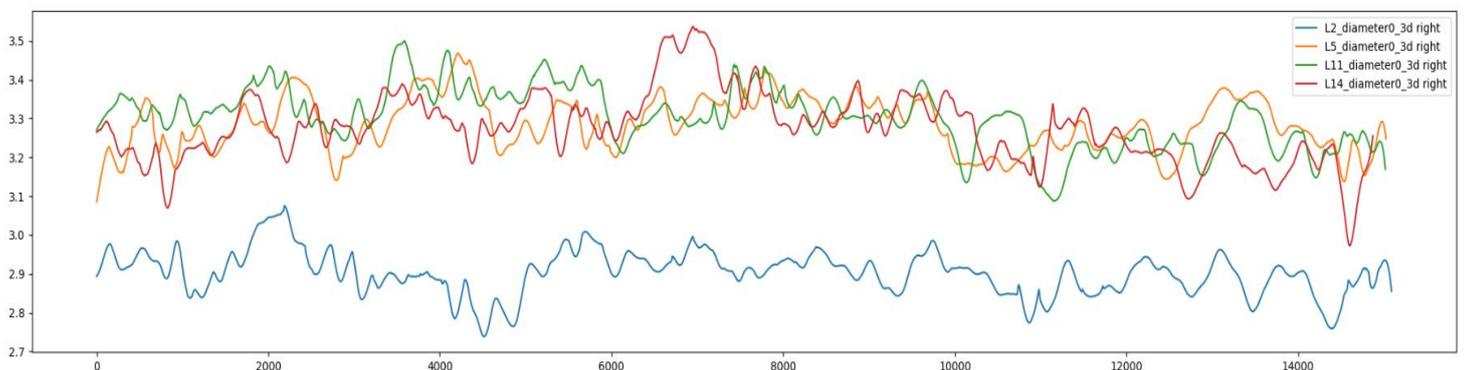


Figure 13 : La courbe L2 (bleue) est exclue de l'analyse (Patient P024)
Diamètre (mm) en fonction du temps.

2.1.7 Mesure du critère principal

Notre objectif étant la mesure de l'effort d'écoute fourni par le patient, nous avons mesuré les pics de dilatation pupillaire (PPD) pour chaque RSB au cours de l'épreuve VRB (Figure 14). Cette mesure a été répétée automatiquement, par notre script « pupil.py » sur l'ensemble des tracés disponibles pour chaque patient afin de pouvoir obtenir la valeur moyenne du pic

de dilatation par RSB. Nous avons également mesuré la valeur moyenne des points du segment 9, correspondant à la condition d'écoute la plus difficile, en prenant soin de vérifier que ceux-ci ne correspondaient pas à des artefacts, afin d'obtenir notre base line.

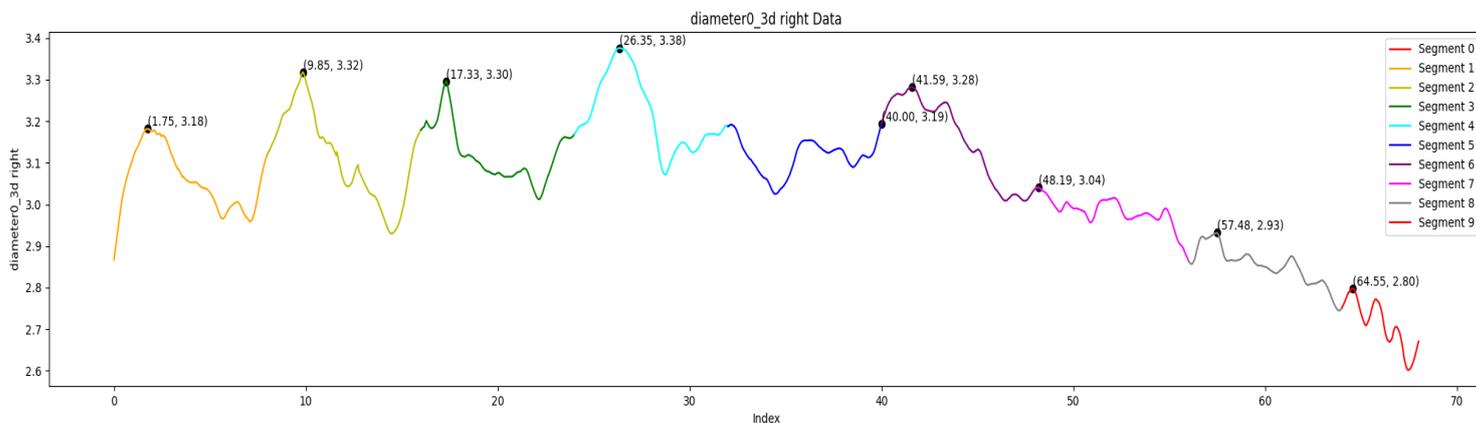


Figure 14 : Pics de dilatations pupillaires par RSB (Patient P023).

L'automatisation de la mesure du pic de dilatation pouvant être mise en défaut, nous avons ajouté une fonction à notre script permettant de sélectionner manuellement ce dernier sur un segment (Figure 15).

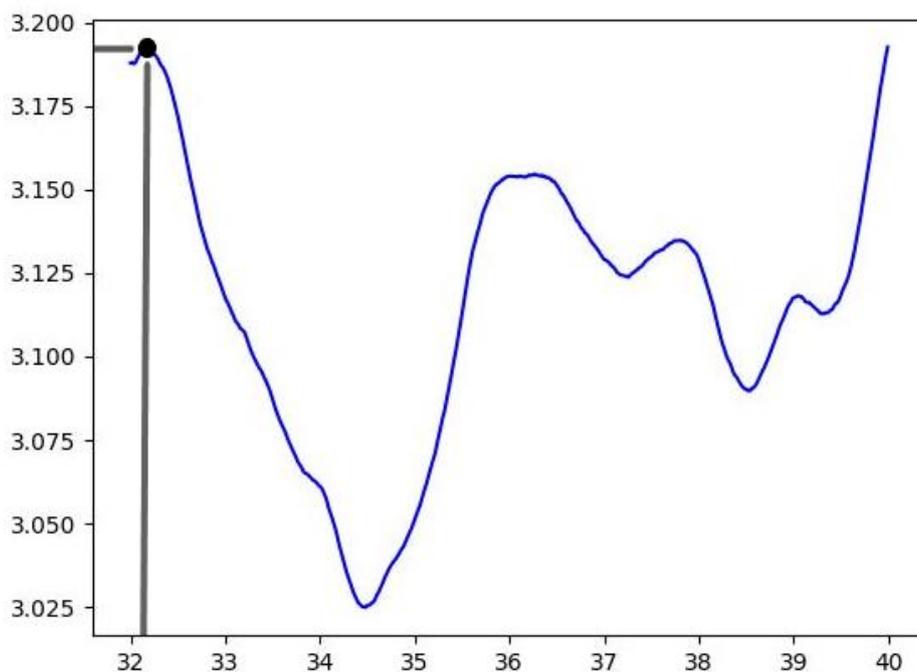


Figure 15 : Segment 5 du Patient 023, mesure manuelle du pic de dilatation. Diamètre (mm) en fonction du temps (secondes).

Le critère principal mesuré est donc la variation moyenne de la taille de la pupille lors des différentes conditions d'écoute correspondant donc aux différents RSB.

2.1.8 Etude des critères secondaires

Les facteurs étudiés au sein de notre population prennent en compte l'historique de la surdité du patient et de sa réhabilitation, son parcours professionnel ainsi que ses statuts cognitif et psychologique. Nous avons donc étudié l'ancienneté de la surdité avant implantation, l'appareillage ou non du patient avant réhabilitation par implant, le nombre d'années d'étude, le métier (présence d'interactions orales quotidiennes ou non), le score au questionnaire MMSE, le score au questionnaire HAD, la mise en place ou la poursuite d'une rééducation orthophonique après implantation (au moins 2 ans ou non) ainsi que le nombre d'électrodes actives.

2.1.9 Statistiques

L'analyse descriptive de notre population a tout d'abord été réalisée. Les variables quantitatives ont été décrites par leur médiane et leurs intervalles interquartiles [Q1 ; Q3] ou par leur moyenne et leur écart type en cas de distribution normale. Les variables qualitatives ont été décrites par des tableaux de fréquence (pourcentages). L'hypothèse de normalité était testée à l'aide du test de Shapiro-Wilk.

Pour comparer les moyennes des variables quantitatives, le t-test de Welch a été utilisé, il s'agit une version adaptée du test de Student qui ne présume pas que la variance soit la même dans les deux groupes, il est donc moins restrictif que le test de Student. Les variables qualitatives ont été comparées entre elles à l'aide du test du Chi-2.

Les moyennes de variation de la dilatation pupillaire selon le RSB étaient comparées entre elles grâce au t-test de Welch avec un risque de première espèce de 5%. L'association entre

les facteurs secondaires et l'attribution du groupe était vérifiée par un test de régression linéaire. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R 4.1.2 ®.

2.2 Résultats

2.2.1 Population

Tout d'abord, 638 patients porteurs d'implant ont consulté pour leur bilan de suivi entre le 1^{er} juin 2022 et le 30 septembre 2023 dans le service d'otologie du CHU de Lille.

Parmi ces 638 patients, 141 répondaient aux critères d'inclusion. Au total, 136 patients ont pu être contactés par mail (nous n'avions pas à disposition les adresses mails de 5 patients).

Seuls 37 patients ont pu être testés entre le 18 juillet et le 15 septembre 2023 (95 mails sont restés sans réponse, 4 patients ont exprimé leur refus de participation). Après application des critères d'exclusion, 3 patients ont dû être exclus le jour du test en raison de résultats audiométriques ne répondant plus aux critères d'inclusion, 2 patients présentaient une implantation tardive (respectivement à l'âge 4 et 5 ans), 1 patient présentait un antécédent de fracture bilatérale des rochers et enfin, la pupillométrie n'était pas réalisable chez 3 patients (3 patients aux yeux clairs). Les mesures de pupillométrie ont pu être réalisées chez 28 patients (Figure 16).

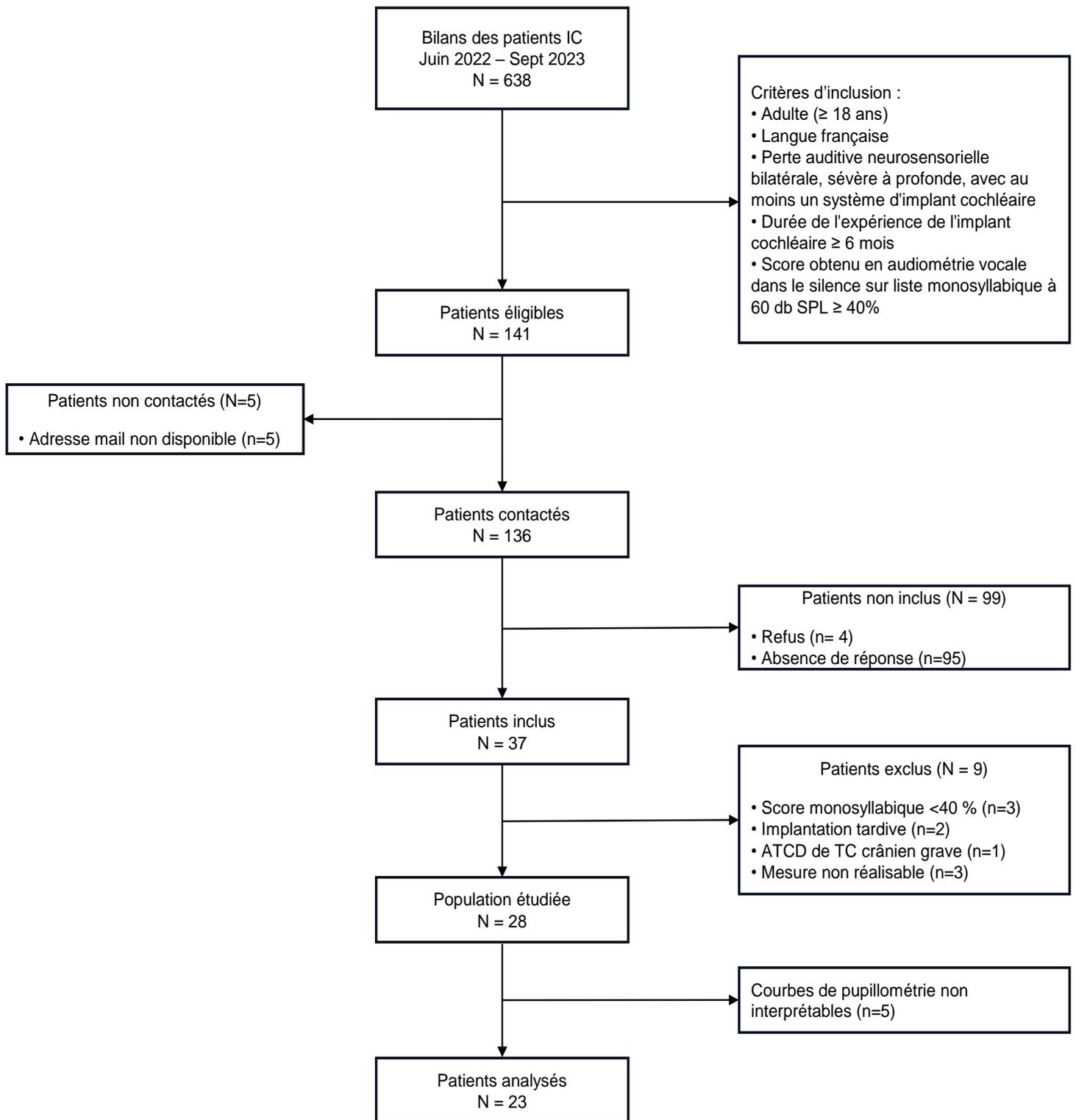


Figure 16 : Flow chart

Le groupe 1 était composé de patients avec une perte comprise entre 5.25 dB RSB et 9.75 dB RSB, regroupant ainsi, à priori, les personnes les plus performantes de notre échantillon. Le groupe 2 était composé de patients avec une perte allant de 9.75 dB RSB à 16 dB RSB (Figure 17).

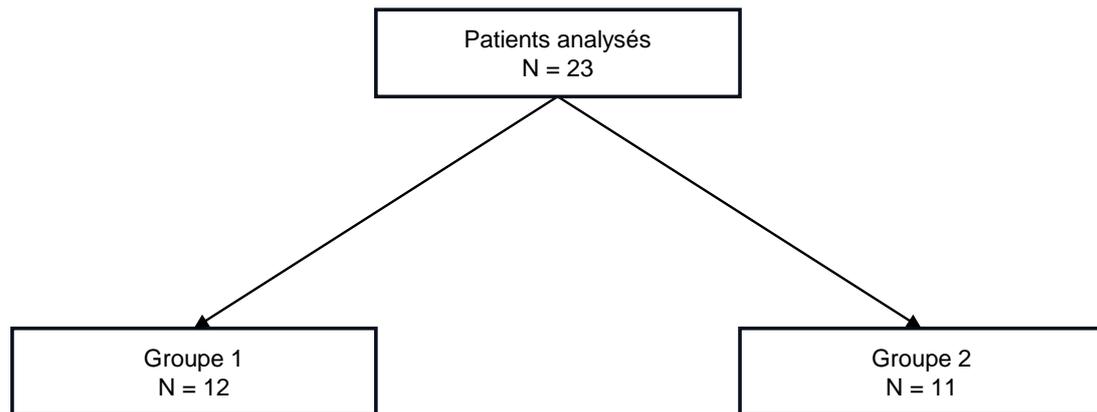


Figure 17 : Répartition en sous-groupes.

Les caractéristiques de notre population sont résumées dans le **tableau 1**.

Tableau 1 : Caractéristiques des patients

	Population N=23	
Age (années)	53.0	[45.0 ; 63.0]
Sexe		
Hommes	5	(21.7%)
Femmes	18	(78.3%)
Score monosyllabique (%)	68.5%	+/- 16.2
Perte moyenne de RSB (dB RSB)	9.9	+/- 2.8
Nombre d'implant(s)		
1	6	(26.1%)
2	17	(73.9%)
Nombres d'électrodes actives	20	[16.0 ; 22.0]
Temps de surdité (années)	21.0	[12.0 ; 30.0]
Appareillage préalable (oui)	20	(87.0%)
Rééducation orthophonique ($\geq 2a$)	16	(69.6%)
Nombre d'années d'étude (années)	2.0	[0.5 ; 3.0]
Métier avec communication (oui)	14	(60.8%)
Score MMSE	28	[27.0-29.0]
Score HAD		
Anxiety	8	[6.0 ; 10.0]
Depression	4	[3.0 ; 6.0]

MMSE = Mini Mental State Examination

HAD = Hospital Anxiety and Depression Scale

Les variables quantitatives sont exprimées avec leur médiane [écart interquartile] ou moyenne +/- écart type.

L'âge médian était de 53 ans [45.0 ; 63.0]. L'effectif était composé de 5 hommes et 18 femmes. L'ancienneté de la surdité remontait à 21 ans [12.0 ; 30.0] et le score obtenu par ces patients sur liste monosyllabique était en moyenne de 68.5% (+/- 16.2). Une grande majorité des patients ont bénéficié d'une réhabilitation première par appareillage

conventionnel (87.0%). Parmi les patients non appareillés, deux patients ne tiraient aucun bénéfice de l'appareillage et un patient présentait une surdité profonde bilatérale d'apparition brutale à la suite d'une méningite. Au total, 69,6% des patients de notre échantillon ont bénéficié d'une rééducation orthophonique de 2 ans ou plus dans les suites de leur implantation cochléaire. Le nombre d'années d'étude médian, défini comme étant le nombre d'année d'étude après l'obtention d'un baccalauréat, était de 2 ans [0.5 ; 3.0] et 60.8% des patients exercent ou exerçaient un métier nécessitant des interactions orales avec d'autres interlocuteurs de façon quotidienne (Annexe 4). Le score médian au test MMSE est de 28 [27.0-29.0] tandis que les réponses au questionnaire HAD ont été étudiées sous forme de deux scores distincts dont la médiane est de 8 [6.0 ; 10.0] pour l'anxiété et de 4 [3.0 ; 6.0] pour la dépression.

Le tableau 2 reprend en détails les caractéristiques des patients selon leur groupe d'appartenance.

Tableau 2 : Description des groupes 1 et 2

		Age	Score Monosyllabique	Nombre d'implants	Temps Surdité	Nombre d'électrodes	MMS	Anxiété	Dépression	Perte RSB
<i>Groupe1</i> N=12	Médiane	50.00	78.00	2.00	19.00	21.50	28.00	8.50	4.00	7.75
	25ième p.	38.00	59.50	2.00	11.75	13.00	27.00	6.25	2.25	6.75
	75ième p.	63.00	91.75	2.00	26.75	22.00	29.00	10.00	6.50	9.31
<i>Groupe2</i> N= 11	Médiane	56.00	58.00	2.00	26.00	20.00	29.00	7.00	4.00	11.50
	25ième p.	45.00	52.00	1.00	12.00	16.00	27.00	5.00	3.00	10.70
	75ième p.	63.00	72.00	2.00	34.00	22.00	30.00	11.00	6.00	13.50

2.2.2 Test VRB et dilatation pupillaire

Afin de faciliter la présentation des résultats nous utiliserons le terme de pic de dilatation (PPD) comme étant la variation maximale de la taille de la pupille par rapport à la baseline. Au sein de notre échantillon la perte moyenne de RSB était de 9,9(+/-2.8) dB RSB (Figure 18).

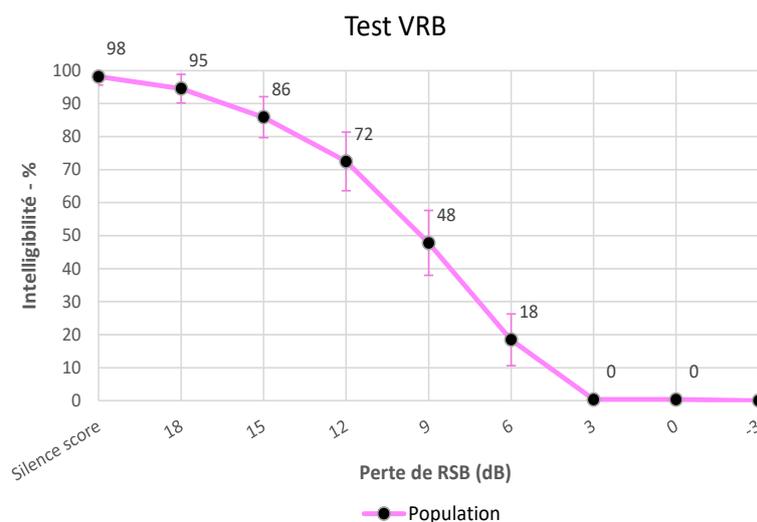


Figure 18 : Epreuve VRB moyenne de notre population.

Le pic de dilatation pupillaire moyen (PPDm) sur l'ensemble de l'épreuve était de +0.53 (+/-0.1) mm avec une valeur maximale de +0.6 mm obtenue à +18 RSB (Figure 19).

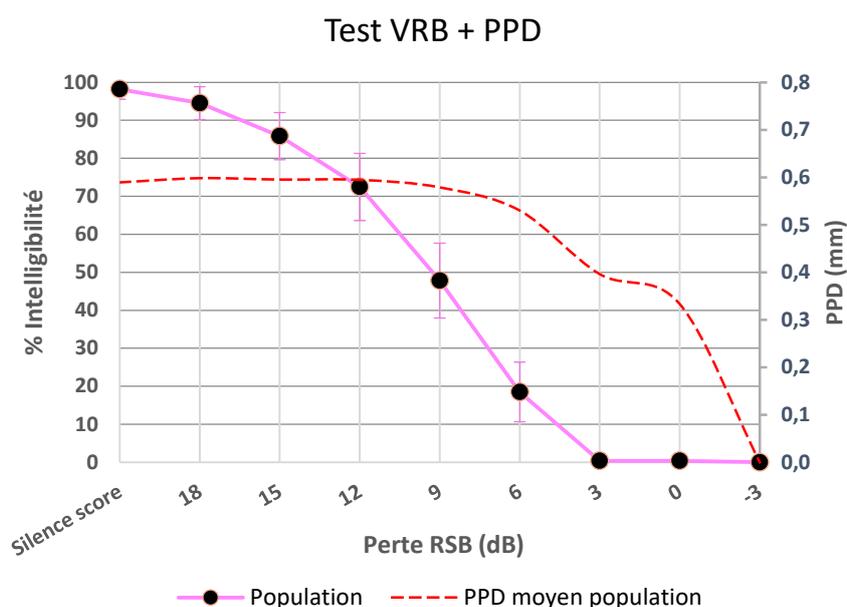


Figure 19 : PPDm de la population au cours de la VRB.

Les pertes moyennes de RSB dans nos deux sous-groupes étaient de 7.8 (+/- 1.5) et 12.2 (+/- 2.0) dB RSB pour respectivement le groupe 1 et le groupe 2 (Figure 20 et 21).

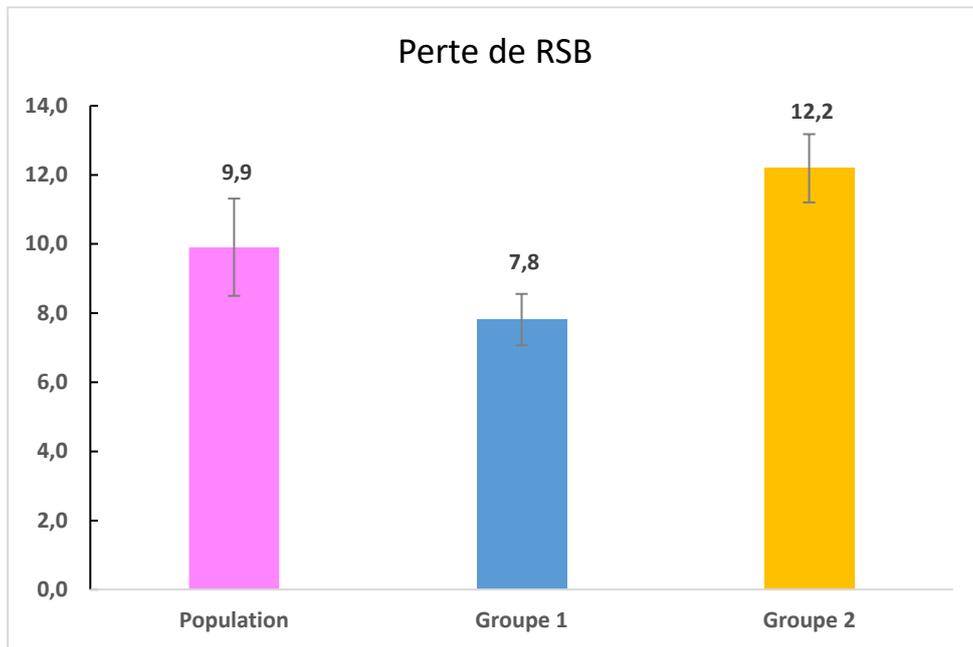


Figure 20 : Perte moyenne de RSB.

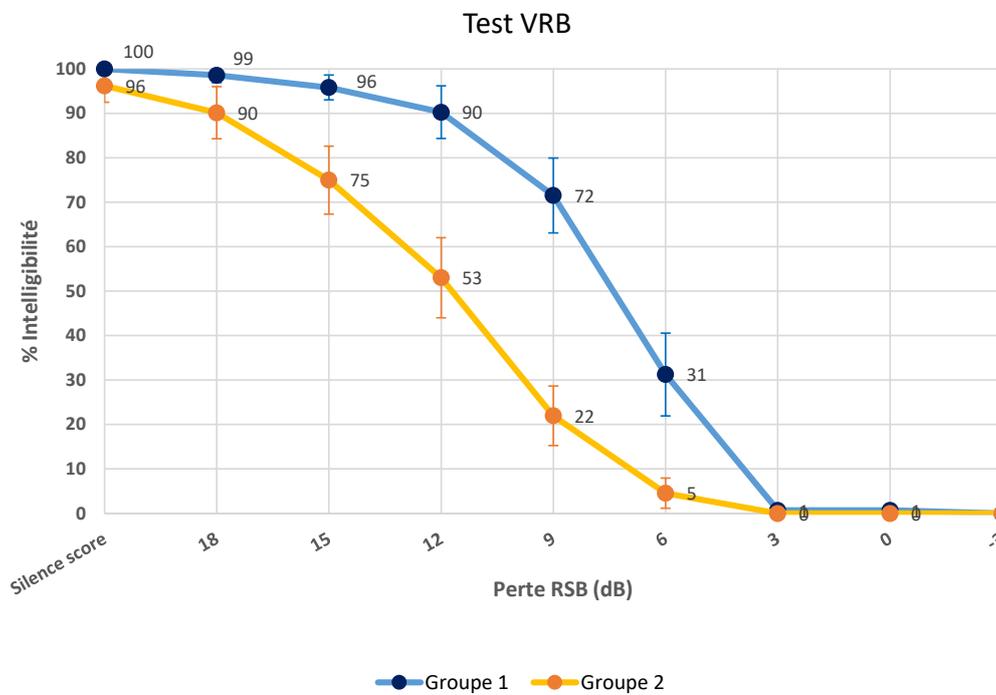


Figure 21 : Epreuve VRB moyenne des groupes 1 et 2.

Le pic de dilatation pupillaire moyen du groupe 1 sur l'ensemble de la VRB était de +0.46 (+/-0.08) mm et de +0.60 (+/-0.13) mm pour le groupe 2. Le PPD maximal était de +0.52 mm, obtenu à +9 RSB, pour le groupe 1 contre +0.7 mm pour le groupe 2, obtenu à + 15 RSB (Figure 22).

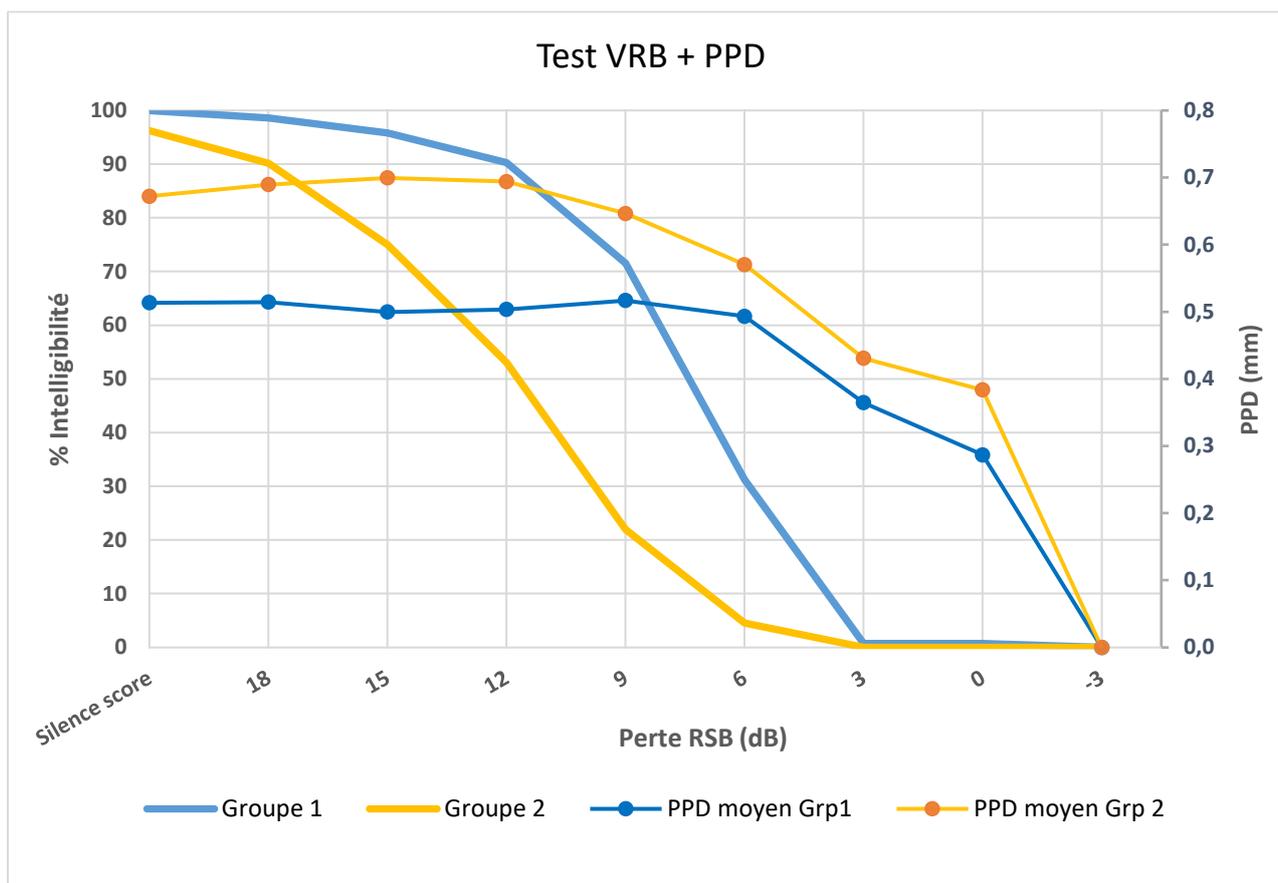


Figure 22 : PPDm des groupes 1 et 2 au cours de la VRB.

2.2.3 Critère de jugement principal

Concernant la mesure du critère de jugement principal au sein de notre population, la comparaison des moyennes n'a pas mis en évidence de variation significative, au seuil alpha de 5%, de la dilatation pupillaire au cours de l'audiométrie VRB (Tableau 3).

Tableau 3 : Comparaison des moyennes de PPD dans la population

Population	<i>t.test</i>	<i>p-value</i>	<i>Moyenne PDD</i>	<i>Moyenne inf</i>	<i>CI</i>
<i>Segment 1</i>	1.99	0.05	3.544	2.955	[-0.007,1.186]
<i>Segment 2</i>	1.99	0.05	3.553	2.955	[-0.007,1.204]
<i>Segment 3</i>	1.97	0.06	3.55	2.955	[-0.015,1.205]
<i>Segment 4</i>	1.96	0.06	3.55	2.955	[-0.017,1.207]
<i>Segment 5</i>	1.9	0.06	3.534	2.955	[-0.036,1.197]
<i>Segment 6</i>	1.75	0.09	3.485	2.955	[-0.082,1.142]
<i>Segment 7</i>	1.32	0.19	3.351	2.955	[-0.21,1.1003]
<i>Segment 8</i>	1.1	0.28	3.288	2.955	[-0.275,0.941]

Les moyennes des pics de dilatation par segment étaient comparées à la moyenne de la baseline. Les patients présentaient vraisemblablement sur les segments 1 à 6, un PPDm plus important, qui restait cependant non significatif, avec une p-value comprise entre [0.05 ; 0.09].

2.2.4 Critères de jugement secondaires

Concernant l'analyse des sous-groupes, il n'existait pas de lien entre l'attribution du groupe et l'appareillage, la rééducation orthophonique, le métier ainsi que le nombre d'année d'études (Tableau 4).

Tableau 4 : Comparaison des groupes sur les variables qualitatives.

Variables	<i>Chi.Square</i>	<i>p-value</i>
<i>Genre</i>	0	1
<i>Appareillage</i>	0.007	0.94
<i>Orthophonie</i>	0.019	0.89
<i>Métier</i>	3.527	0.06
<i>Etude</i>	4.775	0.32

L'analyse de régression linéaire retrouvait un score d'audiométrie sur liste monosyllabique significativement plus élevé dans le groupe 1 ($p < 0.05$) et attendu du fait de la méthode d'attribution des groupes (Tableau 5).

Tableau 5 : Comparaison des groupes sur les variables quantitatives.

<i>Variables</i>	<i>Estimation</i>	<i>Erreur Std.</i>	<i>t-value</i>	<i>p-value</i>
<i>Age</i>	0.008	0.008	0.008	0.32
<i>Score mono</i>	-0.015	0.006	0.006	0.02
<i>Nombre implant</i>	-0.255	0.242	0.242	0.30
<i>Temps surdité</i>	0.009	0.007	0.007	0.23
<i>Nombre électrodes</i>	0.001	0.027	0.027	0.98
<i>MMS</i>	0.046	0.077	0.077	0.56
<i>Anxiety</i>	-0.015	0.033	0.033	0.66
<i>Dépression</i>	0.017	0.045	0.045	0.72

Au sein du groupe 1 comme du groupe 2, et de la même façon que dans la population générale, il n'existait pas de segment au cours duquel le pic de dilatation devenait significativement différent au seuil de 5% (Tableaux 6 et 7).

Tableau 6 : Comparaison des moyennes de PPD dans le groupe 1.

<i>Groupe 1</i>	<i>t.test</i>	<i>p.value</i>	<i>Moyenne PDD</i>	<i>Moyenne inf</i>	<i>CI</i>
<i>Segment 1</i>	1.22	0.23	3.43	2.92	[-0.36,1.38]
<i>Segment 2</i>	1.2	0.24	3.43	2.92	[-0.38,1.4]
<i>Segment 3</i>	1.16	0.26	3.42	2.92	[-0.39,1.39]
<i>Segment 4</i>	1.17	0.25	3.42	2.92	[-0.39,1.39]
<i>Segment 5</i>	1.2	0.24	3.43	2.92	[-0.38,1.41]
<i>Segment 6</i>	1.14	0.27	3.41	2.92	[-0.41,1.39]
<i>Segment 7</i>	0.85	0.41	3.28	2.92	[-0.53,1.26]
<i>Segment 8</i>	0.67	0.51	3.2	2.92	[-0.6,1.17]

Tableau 7: Comparaison des moyennes de PPD dans le groupe 2.

Groupe 2	<i>t.test</i>	<i>p.value</i>	<i>Moyenne PDD</i>	<i>Moyenne inf</i>	<i>CI</i>
<i>Segment 1</i>	1.55	0.14	3.67	3	[-0.23,1.58]
<i>Segment 2</i>	1.58	0.13	3.69	3	[-0.22,1.6]
<i>Segment 3</i>	1.58	0.13	3.7	3	[-0.22,1.62]
<i>Segment 4</i>	1.56	0.14	3.69	3	[-0.24,1.62]
<i>Segment 5</i>	1.44	0.17	3.64	3	[-0.29,1.58]
<i>Segment 6</i>	1.29	0.21	3.57	3	[-0.35,1.49]
<i>Segment 7</i>	0.98	0.34	3.43	3	[-0.49,1.35]
<i>Segment 8</i>	0.86	0.4	3.38	3	[-0.54,1.31]

La comparaison des PPDm entre les groupes 1 et 2 ne permettait pas non plus de mettre en évidence de différence significative (Tableau 8).

Tableau 8: Comparaison des moyennes de PPD entre les groupe 1 et 2.

Grp 1 vs Grp 2	<i>t.test</i>	<i>p-value</i>	<i>Moyenne G1</i>	<i>Moyenne G2</i>	<i>CI</i>
<i>Segment 1</i>	-0.56	0.58	3.43	3.67	[-1.13,0.65]
<i>Segment 2</i>	-0.58	0.57	3.43	3.69	[-1.17,0.66]
<i>Segment 3</i>	-0.63	0.54	3.42	3.7	[-1.21,0.65]
<i>Segment 4</i>	-0.6	0.55	3.42	3.69	[-1.21,0.66]
<i>Segment 5</i>	-0.46	0.65	3.43	3.64	[-1.16,0.74]
<i>Segment 6</i>	-0.35	0.73	3.41	3.57	[-1.1,0.78]
<i>Segment 7</i>	-0.33	0.74	3.28	3.43	[-1.07,0.78]
<i>Segment 8</i>	-0.4	0.7	3.2	3.38	[-1.11,0.75]

2.3 Discussion

L'objectif principal de cette étude était de mesurer l'effort d'écoute chez les patients implantés cochléaires lors de l'audiométrie Vocale Rapide dans le Bruit.

L'utilisation d'un montage simple et maniable est un atout majeur de cette étude, permettant d'envisager son utilisation en pratique clinique courante pour le suivi des patients implantés cochléaires. La mise en place des lunettes de pupillométrie n'a pas perturbé le fonctionnement des dispositifs d'implantation garantissant une bonne tolérance et une faisabilité de l'examen. Aucun événement indésirable n'a été reporté au cours de notre étude. Le choix des points de fixation du regard a été facilement adopté par les patients, il s'agissait le plus souvent de la membrane du haut-parleur face à eux. De plus, le temps de réalisation de l'épreuve avec mesure de la pupillométrie n'a pas ajouté de contrainte significative, ce qui favorise également son intégration aux bilans de suivi.

Il est donc possible de mesurer l'effort d'écoute chez les patients implantés cochléaire dans la pratique clinique.

La sélection des patients, sur la base du volontariat et des réponses favorables obtenues par mail, peut avoir introduit un biais de sélection en faveur des patients les plus motivés. Nous savons que la motivation est un élément clé modifiant l'effort d'écoute. Cela peut avoir influencé les performances observées lors des tests (14,39), et conduit à une surestimation de l'effort d'écoute réel et quotidien de l'ensemble des patients implantés. Il est essentiel de considérer cette donnée pour la suite des travaux, afin d'en améliorer la validité externe par un recrutement plus systématique.

Bien que l'étude n'ait pas mis en évidence de variation significative de la dilatation pupillaire pendant l'audiométrie VRB, les résultats suggèrent une mise en place rapidement maximale et constante de l'effort d'écoute dans notre population. Ces observations sont cohérentes avec les résultats de la littérature sur le lien entre la dilatation pupillaire et l'effort cognitif chez le patient implanté (21,40,41). En effet, *Russo et al. (2020)* retrouvaient cette même tendance, qui reflètent un aspect plus spécifique de la reconnaissance de la parole chez les utilisateurs d'implants cochléaire, qui sont habitués à devoir se concentrer à la fois dans le silence et dans le bruit pendant toute la durée des tests cliniques. Dans notre étude cet effort semble être maintenu encore quelques instants, même en absence de perception du signal, avant de chuter, témoin de la forte motivation des patients IC pour réussir les tests cliniques, puisque, comme l'ont démontré *Koelewijn et al. (2018)*, les personnes motivées semblent être plus persévérantes (14,42).

Ces observations sont à mettre en parallèle avec celles déjà effectuées chez les normo-entendants (Figure 24), où les variations de l'effort observées suivent une courbe en forme de U inversé (18, 20, 43). Les normo-entendants ne fournissent réellement l'effort que quand les conditions d'écoute deviennent difficiles (entre +3 et 0 db RSB sur la Figure 24), permettant ainsi une meilleure gestion de l'effort d'écoute global en se détendant dans des conditions faciles (RSB élevés) mais aussi lorsqu'ils abandonnent dans des conditions très difficiles (RSB faibles).

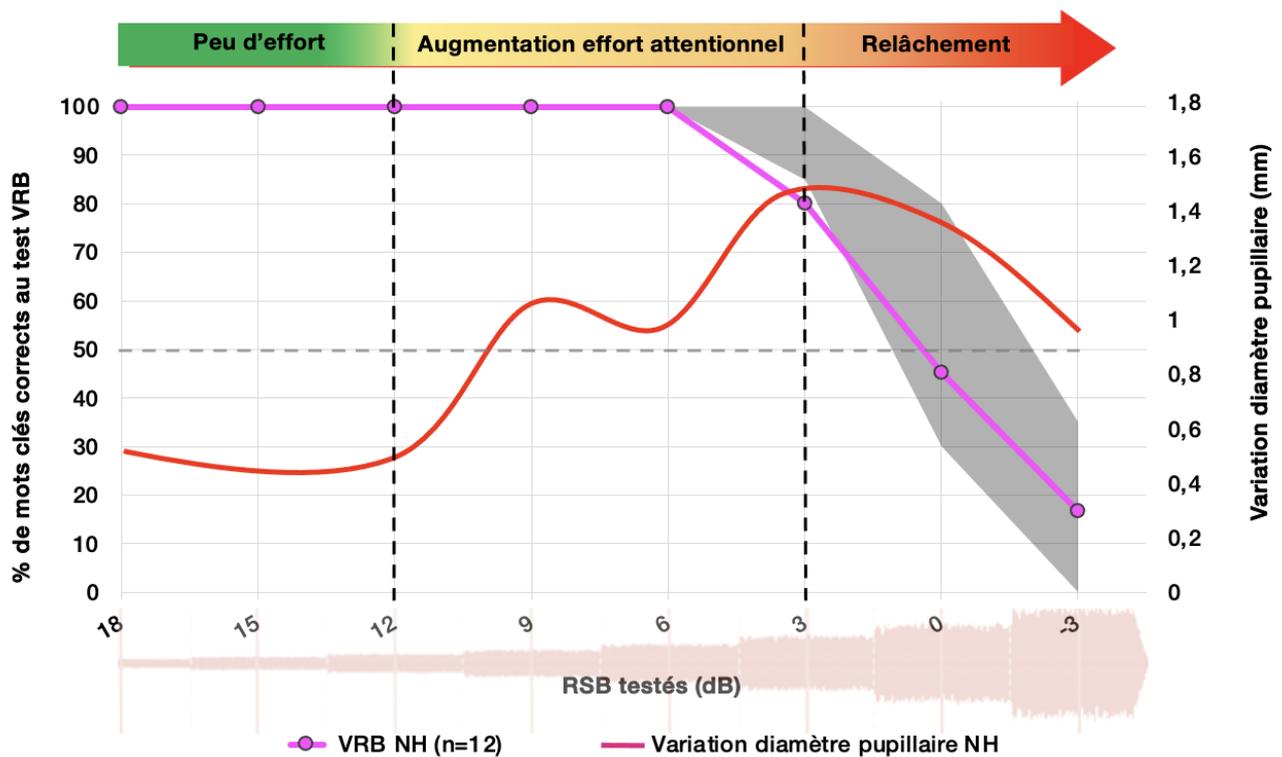


Figure 24 : Effort d'écoute des normoentendants au cours de la VRB dans les travaux de R. Demullier.
NH = Normal Hearing

Une hypothèse majeure de cette étude concerne la différence d'effort d'écoute entre les deux groupes. Le groupe 2 a montré un effort d'écoute globalement plus élevé tout au long de la VRB, avec un pic de dilatation pupillaire plus important pour des performances similaires, notamment en conditions silencieuses. Pour appuyer cette hypothèse il est important de considérer l'âge des patients, puisque la dilatation pupillaire tend à diminuer avec le vieillissement dans la plupart des études (19). L'âge médian étant plus élevé dans le groupe 2, cela renforce notre hypothèse d'un effort d'écoute plus important chez les patients les moins performants de notre échantillon.

Une autre hypothèse, moins robuste cependant, peut être formulée en observant la différence temporelle de survenu du pic de dilatation maximal et du point d'inflexion des courbes dans nos deux groupes. En effet, le pic maximal du groupe 1 survient plus tardivement que celui du groupe 2 correspondant à une situation d'écoute plus difficile au

cours de la VRB. Le point d'inflexion de courbe est atteint plus rapidement chez les patients du groupe 2 avec cependant une tendance au maintien de l'effort plus prolongé que les patients du groupe 1. Cela suggère une différence dans la gestion de l'effort d'écoute entre les patients, méritant une étude plus approfondie de ces variables avec un échantillon plus large.

Points forts et limites :

Concernant les points forts de notre étude, nous pouvons mentionner la mise en place d'un nouveau protocole pour l'utilisation de la pupillométrie comme outil de mesure objectif de l'effort d'écoute au cours de l'audiométrie VRB. L'utilisation de logiciel d'acquisition de données biomédicales parfaitement synchronisées nous permet d'obtenir des résultats fiables et cohérents avec la littérature. L'utilisation comme matériel auditif de l'audiométrie Vocale Rapide dans le Bruit, afin de mesurer l'effort d'écoute, distingue notre étude des autres travaux par sa capacité à simuler des conditions proches de la vie réelle. La VRB offre la possibilité de comparer les variations de la taille des pupilles en relation avec le niveau d'intelligibilité des patients, et notamment lorsque celui-ci commence à décliner.

Concernant les faiblesses de notre étude, notons en premier lieu le nombre limité de sujets entraînant une diminution de sa puissance. Il convient de noter que le test de la VRB s'avère être un défi pour les patients porteurs d'implants cochléaires, car il impose un rythme, comme son nom l'indique, « rapide » d'enchaînement des phrases. Cela implique un recrutement de patients déjà suffisamment performants pour réaliser ce test. En effet, notre population étudiée présente un score sur liste monosyllabique élevé, et donc a priori, il s'agit de patients déjà très performants pouvant rendre difficile la mise en évidence de variations pupillaires significatives entre nos deux groupes. De plus cette caractéristique diminue la validité externe de nos observations. La méthode d'attribution des groupes mérite réflexion pour le

futur, afin de définir une valeur seuil de perte de db RSB permettant de remplacer la perte de RSB médiane utilisée dans notre travail.

Bien que la mesure de la dilatation pupillaire fournisse des indications objectives sur l'effort d'écoute, il est important de noter que d'autres facteurs, tels que la fatigue ou l'attention, peuvent également influencer la taille de la pupille (14,19). Ces variables ne sont pas prises en compte dans les questionnaires neurocognitifs, comme le MMSE. Après discussions avec l'équipe de neurologues du centre expert de la mémoire du CHU de Lille, il est apparu que la passation du test MMSE n'était pas parfaite et pourrait être optimisée afin d'obtenir des scores plus précis et potentiellement une distribution plus étendue. De la même façon, les scores obtenus au questionnaire HAD se sont avérés peu différents d'un patient à l'autre, ce qui suggère qu'un échantillon considérable de patients serait nécessaire pour exploiter ces deux variables. À cet égard, l'utilisation d'une alternative comme un capteur de stress mis en place au cours de la VRB pourrait être une approche plus pertinente pour établir une relation entre l'anxiété et l'effort d'écoute mesuré.

2.4 Conclusion

En conclusion, cette étude a permis de mesurer l'effort d'écoute chez les patients implantés cochléaires lors de l'audiométrie Vocale Rapide dans le Bruit (VRB). Malgré certaines limitations, les résultats offrent des perspectives intéressantes pour comprendre l'effort d'écoute dans cette population et contribuer à l'amélioration de leurs soins et de leur qualité de vie. Des recherches futures, avec des échantillons plus importants et une approche plus systématique du recrutement, sont nécessaires pour approfondir ces observations prometteuses et mieux cerner les mécanismes de l'effort d'écoute chez les patients implantés cochléaires.

3 Annexes

3.1 Annexe 1 : Questionnaire du Mini Mental State Examination , version du GRECO

Mini-Mental State Examination dans sa version consensuelle établie par le groupe de recherche et d'évaluation des outils cognitifs (GRECO)

Orientation

Je vais vous poser quelques questions pour apprécier comment fonctionne votre mémoire. Les unes sont très simples, les autres un peu moins. Vous devez répondre du mieux que vous pouvez.

1. En quelle année sommes-nous ?
2. En quelle saison ?
3. En quel mois ?
4. Quel jour du mois ?
5. Quel jour de la semaine ?

Je vais vous poser maintenant quelques questions sur l'endroit où nous nous trouvons :

6. Quel est le nom de l'hôpital où nous sommes ?
(si l'examen est réalisé en cabinet, demander le nom du cabinet médical ou de la rue où il se trouve)
7. Dans quelle ville se trouve-t-il ?
8. Quel est le nom du département dans lequel est située cette ville ?
9. Dans quelle région est situé ce département ?
10. À quel étage sommes-nous ici ?

Apprentissage

Je vais vous dire 3 mots. Je voudrais que vous me les répétiez et que vous essayiez de les retenir car je vous les redemanderai tout à l'heure.

11. Cigare
12. Fleur
13. Porte

Répétez les 3 mots.

Attention et calcul

Voulez-vous compter à partir de 100 en retirant 7 à chaque fois ?

14. 93
15. 86
16. 79
17. 72
18. 65

Pour tous les sujets, même ceux qui ont obtenu le maximum de points, demander : voulez-vous épeler le mot MONDE à l'envers : EDNOM. Le score correspond au nombre de lettres dans la bonne position. (Ce chiffre ne doit pas figurer dans le score global.)

Rappel

Pouvez-vous me dire quels étaient les 3 mots que je vous ai demandé de répéter et de retenir tout à l'heure ?

19. Cigare
20. Fleur
21. Porte

Langage

22. Montrer un crayon. *Quel est le nom de cet objet ?*
23. Montrer votre montre. *Quel est le nom de cet objet ?*
24. *Ecoutez bien et répétez après moi : "Pas de mais, de si, ni de et"*
25. Poser une feuille de papier sur le bureau, la montrer au sujet en lui disant : *Écoutez bien et faites ce que je vais vous dire :*
Prenez cette feuille de papier avec la main droite
26. Pliez-la en deux
27. Et jetez-la par terre
28. Tendre au sujet une feuille de papier sur laquelle est écrit en gros caractères :

"Fermez les yeux" et dire au sujet : *Faites ce qui est écrit*
29. Tendre au sujet une feuille de papier et un stylo, en disant :
Voulez-vous m'écrire une phrase, ce que vous voulez, mais une phrase entière.
Cette phrase doit être écrite spontanément. Elle doit contenir un sujet, un verbe, et avoir un sens.

Praxies constructives

30. Tendre au sujet une feuille de papier et lui demander :
"Voulez-vous recopier ce dessin ?"

Compter 1 point pour chaque bonne réponse.

SCORE GLOBAL/30 (les seuils pathologiques dépendent du niveau socioculturel).

Derouesné C, Poitreneau J, Hugonot L, Kalafat M, Dubois B, Laurent B. Au nom du groupe de recherche sur l'évaluation cognitive (GRECO). Le Mental-State Examination (MMSE): un outil pratique pour l'évaluation de l'état cognitif des patients par le clinicien. Version française consensuelle. Presse Méd. 1999;28:1141-8.

Kalafat M, Hugonot-Diener L, Poitreneau J. Standardisation et étalonnage français du « Mini Mental State » (MMS) version GRECO. Rev Neuropsychol 2003 ;13(2) :209-36.

3.2 Annexe 2 : Questionnaire Hôpital Anxiety and Depression scale

Échelle HAD : Hospital Anxiety and Depression scale

L'échelle HAD est un instrument qui permet de dépister les troubles anxieux et dépressifs. Elle comporte 14 items cotés de 0 à 3. Sept questions se rapportent à l'anxiété (total A) et sept autres à la dimension dépressive (total D), permettant ainsi l'obtention de deux scores (note maximale de chaque score = 21).

1. Je me sens tendu(e) ou énervé(e)

- La plupart du temps 3
- Souvent 2
- De temps en temps 1
- Jamais 0

2. Je prends plaisir aux mêmes choses qu'autrefois

- Oui, tout autant 0
- Pas autant 1
- Un peu seulement 2
- Presque plus 3

3. J'ai une sensation de peur comme si quelque chose d'horrible allait m'arriver

- Oui, très nettement 3
- Oui, mais ce n'est pas trop grave 2
- Un peu, mais cela ne m'inquiète pas 1
- Pas du tout 0

4. Je ris facilement et vois le bon côté des choses

- Autant que par le passé 0
- Plus autant qu'avant 1
- Vraiment moins qu'avant 2
- Plus du tout 3

5. Je me fais du souci

- Très souvent 3
- Assez souvent 2
- Occasionnellement 1
- Très occasionnellement 0

6. Je suis de bonne humeur

- Jamais 3
- Rarement 2
- Assez souvent 1
- La plupart du temps 0

7. Je peux rester tranquillement assis(e) à ne rien faire et me sentir décontracté(e)

- Oui, quoi qu'il arrive 0
- Oui, en général 1
- Rarement 2
- Jamais 3

8. J'ai l'impression de fonctionner au ralenti

- Presque toujours 3
- Très souvent 2
- Parfois 1
- Jamais 0

9. J'éprouve des sensations de peur et j'ai l'estomac noué

- Jamais 0
- Parfois 1
- Assez souvent 2
- Très souvent 3

10. Je ne m'intéresse plus à mon apparence

- Plus du tout 3
- Je n'y accorde pas autant d'attention que je devrais 2
- Il se peut que je n'y fasse plus autant attention 1
- J'y prête autant d'attention que par le passé 0

11. J'ai la bougeotte et n'arrive pas à tenir en place

- Oui, c'est tout à fait le cas 3
- Un peu 2
- Pas tellement 1
- Pas du tout 0

12. Je me réjouis d'avance à l'idée de faire certaines choses

- Autant qu'avant 0
- Un peu moins qu'avant 1
- Bien moins qu'avant 2
- Presque jamais 3

13. J'éprouve des sensations soudaines de panique

- Vraiment très souvent 3
- Assez souvent 2
- Pas très souvent 1
- Jamais 0

14. Je peux prendre plaisir à un bon livre ou à une bonne émission de radio ou de télévision

- Souvent 0
- Parfois 1
- Rarement 2
- Très rarement 3

3.3 Annexe 3 : Lunette de pupillométrie



Lunettes Pupil Core® : 1 Camera principale ; 2 Support nasal ; 3 Cameras oculaires ; 4 Connecteur USB-C

3.4 Annexe 4 : Détails des métiers

Métiers	N
<u>« Avec communication »</u>	14
Etudiant(e)s	2
Audioprothésiste	1
Distribution	1
Infirmier(e)	2
Animation	1
Psychothérapeute	1
Accueil/secrétariat	1
Comptable	1
Enseignement	1
Milieu associatif	1
Commercial	2
<u>« Sans communication »</u>	9
Electricien	1
Gestionnaire/ Bureau	2
Préparation en officine	1
Nourrice	1
Manutention	2
Coiffeur(se)	1
Secrétariat	1
Total	23

4 Références

1. World report on hearing [Internet]. [cité 14 juill 2023]. Disponible sur: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240020481>
2. Lisan Q, Goldberg M, Lahlou G, Ozguler A, Lemonnier S, Jouven X, et al. Prevalence of Hearing Loss and Hearing Aid Use Among Adults in France in the CONSTANCES Study. *JAMA Netw Open*. 17 juin 2022;5(6):e2217633.
3. Livingston G, Huntley J, Sommerlad A, Ames D, Ballard C, Banerjee S, et al. Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the Lancet Commission. *The Lancet*. 8 août 2020;396(10248):413-46.
4. Simon F, Roman S, Truy E, Barone P, Belmin J, Blanchet C, et al. Recommandations de la SFORL sur l'indication de l'implant cochléaire chez l'enfant. *Ann Fr Oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale*. 1 oct 2019;136(5):376-82.
5. CISIC_questionnaire_2020.pdf [Internet]. [cité 14 juill 2023]. Disponible sur: https://www.cisic.fr/CISIC/media/enquete/CISIC_questionnaire_2020.pdf
6. Sladen DP, Carlson ML, Dowling BP, Olund AP, DeJong MD, Breneman A, et al. Cochlear Implantation in Adults With Asymmetric Hearing Loss: Speech Recognition in Quiet and in Noise, and Health Related Quality of Life. *Am Otol Soc*. juin 2018;39(5):576-81.
7. Demorest M, Erdman S. Development of the Communication Profile for the Hearing Impaired. *J Speech Hear Disord*. 1 juin 1987;52:129-43.
8. Pichora-Fuller MK. How Social Psychological Factors May Modulate Auditory and Cognitive Functioning During Listening. *Ear Hear*. août 2016;37:92S.
9. Kim SY, Kim HJ, Park EK, Joe J, Sim S, Choi HG. Severe hearing impairment and risk of depression: A national cohort study. *PLoS ONE*. 22 juin 2017;12(6):e0179973.
10. Contrera KJ, Betz J, Deal J, Choi JS, Ayonayon HN, Harris T, et al. Association of Hearing Impairment and Anxiety in Older Adults. *J Aging Health*. févr 2017;29(1):172-84.
11. Kushalnagar P, Reesman J, Holcomb T, Ryan C. Prevalence of Anxiety or Depression Diagnosis in Deaf Adults. *J Deaf Stud Deaf Educ*. 1 oct 2019;24(4):378-85.
12. Stenfelt S, Rönnberg J. The Signal-Cognition interface: Interactions between degraded auditory signals and cognitive processes. *Scand J Psychol*. 2009;50(5):385-93.
13. Brungart DS, Simpson BD, Ericson MA, Scott KR. Informational and energetic masking effects in the perception of multiple simultaneous talkers. *J Acoust Soc Am*. nov 2001;110(5 Pt 1):2527-38.
14. Pichora-Fuller MK, Kramer SE, Eckert MA, Edwards B, Hornsby BWY, Humes LE, et al. Hearing Impairment and Cognitive Energy: The Framework for Understanding Effortful Listening (FUEL). *Ear Hear*. 2016;37 Suppl 1:5S-27S.
15. Beatty J. Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources. *Psychol Bull*. mars 1982;91(2):276-92.
16. Joshi S, Li Y, Kalwani R, Gold JJ. Relationships between pupil diameter and neuronal activity in the locus coeruleus, colliculi, and cingulate cortex. *Neuron*. 6 janv 2016;89(1):221-34.

17. Demullier R. Évaluation de l'effort cognitif pendant le test vocal rapide dans le bruit (VRB) grâce à la pupillométrie : de l'audition normale à l'implant cochléaire. 2019.
18. Koelewijn T, Zekveld AA, Festen JM, Kramer SE. Pupil Dilation Uncovers Extra Listening Effort in the Presence of a Single-Talker Masker. *Ear Hear.* avr 2012;33(2):291.
19. Zekveld AA, Koelewijn T, Kramer SE. The Pupil Dilation Response to Auditory Stimuli: Current State of Knowledge. *Trends Hear.* 25 sept 2018;22:2331216518777174.
20. Zekveld AA, Kramer SE. Cognitive processing load across a wide range of listening conditions: Insights from pupillometry. *Psychophysiology.* 2014;51(3):277-84.
21. Russo FY, Hoen M, Karoui C, Demarcy T, Thomas Demarcy, Ardoint M, et al. Pupillometry Assessment of Speech Recognition and Listening Experience in Adult Cochlear Implant Patients. *Front Neurosci.* 2020;14:556675-556675.
22. Winn MB, Wendt D, Koelewijn T, Kuchinsky SE. Best Practices and Advice for Using Pupillometry to Measure Listening Effort: An Introduction for Those Who Want to Get Started. *Trends Hear.* 28 sept 2018;22:2331216518800869.
23. Loewenfeld IE. The pupil : anatomy, physiology, and clinical applications. *Brain.* 1999;
24. McRackan TR, Bauschard M, Hatch JL, Franko-Tobin E, Droghini HR, Nguyen SA, et al. Meta-analysis of quality-of-life improvement after cochlear implantation and associations with speech recognition abilities. *The Laryngoscope.* 2018;128(4):982-90.
25. Albu S, Babighian G. Predictive factors in cochlear implants. *Acta Otorhinolaryngol Belg.* 1997;51(1):11-6.
26. Garabédian E, Loundon N. L'implant cochléaire chez l'enfant. 2010
27. Hssaine K, Belhoucha B, Benhommad O, Rochdi Y, Nouri H, Aderdour L, et al. Evaluation des résultats de l'implantation cochléaire. *Pan Afr Med J.* 8 oct 2015;22:110.
28. Joly CA, Reynard P, Mezzi K, Bakhos D, Bergeron F, Bonnard D, et al. Recommandations de la Société française d'ORL et de chirurgie de la face et du cou (SFORL) et de la Société française d'audiologie (SFA) pour la pratique de l'audiométrie vocale dans le bruit chez l'adulte. *Ann Fr Oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale.* 1 févr 2022;139(1):20-7.
29. James CJ, Laborde ML, Algans C, Tartayre M, Cochard N, Fraysse B, et al. The French MBAA2 sentence recognition in noise test for cochlear implant users. *Int J Audiol.* 3 avr 2023;62(4):304-11.
30. Leclercq F. Conception d'un matériel vocal équilibré en difficulté utilisable pour le développement d'un test d'audiométrie vocale dans le bruit.
31. Afnor EDITIONS [Internet]. [cité 23 sept 2023]. NF EN ISO 8253-3. Disponible sur: <https://m.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-iso-82533/acoustique-methodes-dessais-audiometriques-partie-3-audiometrie-vocale/fa191997/321392>
32. Djakoure MJ. Evaluation d'un test d'audiométrie vocale rapide dans le bruit (VRB) par la mesure du rapport signal-sur-bruit [Internet] [Thèse d'exercice]. [Lille ; 1969-2017, France]: Université du droit et de la santé; 2017 [cité 15 août 2023]. Disponible sur: https://pepite-depot.univ-lille.fr/LIBRE/Th_Medecine/2017/2017LIL2M194.pdf
33. Leclercq F, Renard C, Vincent C. Speech audiometry in noise: Development of the French-language VRB (vocale rapide dans le bruit) test. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* 1 oct 2018;135(5):315-9.

34. AudioCapture [Internet]. LabStreamingLayer submodules; 2023 [cité 15 août 2023]. Disponible sur: <https://github.com/labstreaminglayer/App-AudioCapture>
35. LabStreamingLayer submodules · GitHub [Internet]. [cité 15 août 2023]. Disponible sur: <https://github.com/labstreaminglayer>
36. Pupil Labs [Internet]. [cité 15 août 2023]. Core - Getting Started. Disponible sur: <https://docs.pupil-labs.com>
37. GitHub - labstreaminglayer/App-LabRecorder: An application for streaming one or more LSL streams to disk in XDF file format. [Internet]. [cité 15 août 2023]. Disponible sur: <https://github.com/labstreaminglayer/App-LabRecorder>
38. Pupil Labs [Internet]. [cité 10 sept 2023]. Core - pye3d Pupil Detection. Disponible sur: <https://docs.pupil-labs.com>
39. Peelle JE. Listening Effort: How the Cognitive Consequences of Acoustic Challenge Are Reflected in Brain and Behavior. *Ear Hear.* mars 2018;39(2):204-14.
40. Dingemans G, Goedegebure A. Listening Effort in Cochlear Implant Users: The Effect of Speech Intelligibility, Noise Reduction Processing, and Working Memory Capacity on the Pupil Dilation Response. *J Speech Lang Hear Res.* janv 2022;65(1):392-404.
41. Saksida A, Ghiselli S, Picinali L, Pintonello S, Battelino S, Orzan E. Attention to Speech and Music in Young Children with Bilateral Cochlear Implants: A Pupillometry Study. *J Clin Med.* 21 mars 2022;11(6):1745.
42. Koelewijn T, Zekveld AA, Lunner T, Kramer SE. The effect of reward on listening effort as reflected by the pupil dilation response. *Hear Res.* 1 sept 2018;367:106-12.

AUTEUR : Nom : THUILLIER

Prénom : MAXIME

Date de soutenance : 24/10/2023

Titre de la thèse : Etude monocentrique évaluant l'effort d'écoute des patients implantés cochléaires en environnement bruyant, par pupillométrie.

Thèse - Médecine - Lille 2023

Cadre de classement : Otologie et Otonéurologie

DES + FST/option : Otorhinolaryngologie et Chirurgie Cervico-Faciale

Mots-clés : implant cochléaire, pupillométrie, effort d'écoute, vocale rapide dans le bruit, audiologie.

Contexte : À l'heure actuelle, l'effort d'écoute n'est pas pris en compte dans l'évaluation des performances post-implantation des patients.

Objectif : Mesurer l'effort d'écoute de patients implantés cochléaires au cours de l'audiométrie Vocale Rapide dans le Bruit (VRB).

Matériels et méthode : Etude prospective monocentrique transversale descriptive portant sur l'effort d'écoute déployé par les patients implantés cochléaire au cours de la VRB mesuré par pupillométrie. Il s'agit de mesurer le diamètre pupillaire qui tend à augmenter en réaction à l'accroissement de la charge mentale liée à l'écoute. L'audiométrie VRB propose un large panel de Rapport Signal-sur-bruit (RSB) allant de +18 dB RSB à -3 db RSB permettant l'étude du pic de dilatation pupillaire moyen (PPDm) par RSB et en fonction de l'intelligibilité du patient. Il s'agit de patients implantés unilatéralement ou bilatéralement, majeurs, dont l'expérience avec l'implant date d'au moins 6 mois. Les caractéristiques socio-démographiques, psychocognitives ainsi que celles de l'histoire de la surdité ont été recueillies.

Résultats : Nous avons pu mesurer l'effort d'écoute lors de la VRB chez 28 patients. Le protocole mis en place était fiable, reproductible et bien toléré. Il n'a pas été mis en évidence de variation significative de la dilatation pupillaire au cours de la VRB. Nous observons tout de même la mise en place rapidement maximale et constante de l'effort d'écoute dans notre population.

Conclusion : Cette étude offre des perspectives intéressantes pour mieux comprendre l'effort d'écoute des patients implantés cochléaires et contribuer à l'amélioration de leurs soins et de leur qualité de vie.

Composition du Jury :

Président :

Monsieur le Professeur Christophe VINCENT

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Dominique CHEVALIER

Monsieur le Professeur Geoffrey MORTUAIRE

Madame le Docteur Fanny GAUVRIT

Directeur de thèse :

Monsieur le Professeur Christophe VINCENT